Z81/1

MITTEILUNGEN

der

DEUTSCHEN BODENKUNDLICHEN GESELLSCHAFT

Bd. 1
1963

Mitteilgn. Dtsch. Bodenkundl. Gesellschaft Bd. 1 S. 1 - 354 1963

MITTEILUNGEN

der

DEUTSCHEN BODENKUNDLICHEN GESELLSCHAFT

· SCHWERE BÖDEN ·

Kurzfassungen von Vorträgen zur Jahrestagung 1963 der DBG in Würzburg (31.8. - 7.9.1963)

Bd. 1
1963

Druck und Schreibsatz: Andreas Funke, Offsetdruck,
Göttingen, Paulinerstraße 13

INHALT

Seite

A EINLEITUNG

1. Scheffer, F.: Zur Themastellung "Schwere Böden" 1

B PEDOGEOGRAPHISCHE ÜBERBLICKE UND TYPEN SCHWERER BÖDEN

I. Außereuropäische Gebiete

2. Kubiena, W.L.: Schwere Böden der Tropen und Subtropen 9
3. Finck, A.: Die dunklen Tonböden der Tropen, ihre Eigenschaften, Entstehung und Nutzung 19

II. Europa, generell

4. Mückenhausen, E.: Die schweren Böden Europas 27

III. Deutschland

a) Marschen

5. Benzler, J.-H.: Profilaufbau verschiedener Marschböden 31
6. Fleischmann, R., u. Voigt, H.: Die Entstehung und Entwicklung der umgespitteten Böden im Küstenmoor des Jadebusens 41
7. Stremme, H.E.: Tongehalte, Kationenbelegung und Strukturbildung in den Knickmarschböden Schleswig-Holsteins 53

b) Mittelgebirgs-Schwelle, Süddeutschland

8. Arens, H.: Entstehung, Zusammensetzung und Eigenschaften von Graulehmen, erläuterten an Beispielen aus dem rheinischen Schiefergebirge, sowie Braunplastosolen und Terra-fusca-Relikten in Nordrhein-Westfalen 63

9. Wortmann, H.: Genetik, Systematik und Verbreitung schwerer Böden auf Wiesen-Tonmergeln im westfälischen Münsterland 69

10. Müller, S.: Der "Sumpfton" im württembergischen Gipskeuper 73

11. Bunnacker, K.: Die schweren Böden Bayerus in geologischer und bodengeschichtlicher Sicht 81

12. Diez, T. : Profilmorphologische Merkmale der Pelosole in Nordbayern und ihre Kartierung 85

13. Wittmann, O.: Über die Weinbergböden in Franken 93

IV. Physikalische Charakterisierung bestimmter Bodentypen

14. Wohlrab, B.: Über den Wasserhaushalt eines Auenbodens, Porenraumverteilung, Durchlässigkeit und Grundwasserbewegung in einem allochthonen Kalkauenboden über einem Tonauenboden 101

15. Blümel, F., u. Sedlacek, M.: Über die Zusammensetzung, die physikalischen Eigenschaften und die Melioration einiger schwerer schwarzerdeähnlicher Auböden (Smonitza) aus Nieder- und Oberösterreich 111

16. Strautz, W.: Porengrößen-Verteilung in einer Feuchtschwarzerde-Parabraunerde-Reihe aus Löß 121

17. Rid, H.: Ergebnisse physikalischer Bodenuntersuchungen an schweren Böden 129

Seite

V. Wasserhaushalts- und Strukturdynamik bestimmter schwerer Böden

18. Kuntze, H.: Einfluß der Dränung auf die Struktur des Marschbodens 141

19. Wichtmann, H.: Feldbeobachtungen zur Strukturdynamik von Lehm- und Tonböden 143

20. Schaffer, G.: Phänologische Gefügedynamik verschiedener Bodentypen unter besonderer Berücksichtigung schwerer Böden 149

21. v. Müller, A.: Wasserhaushaltsbeobachtungen in Zuckerrübenbeständen auf Parabraunerde 151

22. Spannagel, G.: Anthropogene Reduktionserscheinungen auf landwirtschaftlich genutzten schweren Böden 157

23. Feuerlein, W.: 10-jährige vergleichende Untersuchungen an einem Lehm- und einem Tonboden in den Völkenroder Bodenrinnen 167

VI. Physik und Chemismus der Strukturbildung

24. Frese, H., u. Ceratzki, W.: Die Wirkung des Frostes auf die Struktur des Tonbodens 179

25. Kuntze, H.: Quellung und Schrumpfung und ihre zentrale Bedeutung bei wechselnder Ausprägung wichtiger Struktureigenschaften 185

Seite

26. Müller, W., u. Fastabend, H.: Der Einfluß des sorbierten Magnesiums auf die Wasserdurchlässigkeit und die Lagerungsverhältnisse von Marschböden 195

VII. Physikalische Methoden und Ergebnisse (Vermischtes)

27. Walkewitz, H.: Die Bedeutung der Adhäsion für die Gefügeausbildung des Bodens 221

28. Sunkel, R.: Porung und Wasserbindung in Peloso1-Aggregaten 229

29. Müller, W.: Gedanken zur Ausprache des Feinbodens 237

VIII. Durchlässigkeits-Untersuchungen

30. Baumann, H.: Die Möglichkeit, den K_f-Wert der Bestimmung der Dränstrang-entfernung dienstbar zu machen 247

31. Benecke, D.: Bodenphysikalische Kennwerte mit besonderer Berücksichtigung der Durchlässigkeit 253

32. Hartge, K.H.: Die Beurteilung der Permeabilitäts-bestimmungen an Stechzylinder-proben 267

33. Benecke, P.: Gefügeabstufungen und ihre Beziehungen zur Durchlässigkeit 275

IX. Mikrobiologie

34. Beck, Th.: Charakterisierung der Mikroflora schwerer Böden 285

35. König, E.: Einige Versuche zur mikrobiologischen Charakterisierung verschiedener Bodentypen 293

X. Tonminerale, K-fixierung

36. Bailly, F.: Freisetzung von nicht austauschbarem Kalium 297

37. Zehler, E.: Zur Kennzeichnung des Kalium-Haushaltes von Lößböden langjähriger Düngungsversuche 303

38. Niederbudde, E.A.: Beziehungen zwischen Kaliumfixierung und Bodenentwicklung am Beispiel von Lössen 309

39. Schwertmann, U.: Das Verhalten des austauschbaren Aluminiums bei der Alterung von H-Tonmineralen 319

XI. Bewertung schwerer Böden

40. Kuntze, H.: Der Marschboden im Wandel der Anschauungen über schwere Böden 325

41. Taschenmacher, W.: Die Bewertung der schweren Böden durch die Finanzverwaltung 341

42. Wacker, F.: Veränderte Bodenwerte und Schätzungsrahmen der amtlichen Bodenschätzung 351

Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft Bd. 1 S. 1 - 8, 1963

ZUR THEMASTELLUNG "SCHWERE BÖDEN"

von F. Scheffer[x)]

Nach der Begrüßung der erschienenen Mitglieder der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft und all der Freunde und Gäste, die von nah und fern herbeigekommen sind, um ihr Interesse und ihre Liebe zur Wissenschaft der Bodenkunde zu bekunden, ebenso nach der Begrüßung der Mitglieder des Arbeitskreises Pflanzenernährung unter Leitung von Prof. Dr. Rauterberg, Berlin, führte Prof. Scheffer folgendes aus:

Die Deutsche Bodenkundliche Gesellschaft hatte auf ihrer letzten Jahrestagung in Wien 1961 beschlossen, ihren diesjährigen Kongreß in Würzburg abzuhalten. Für die Wahl unserer Tagungsorte ist bisher immer der regionale Gesichtspunkt entscheidend gewesen, d.h. im Laufe des letzten Jahrzehnts haben wir mit unseren wissenschaftlichen Exkursionen, die einen wesentlichen Teil unseres Tagungsprogrammes ausmachen, einen großen Teil Deutschlands überstrichen, z.T. auch schon über die Grenzen, so nach Österreich und der Schweiz, wo unsere dortigen Freunde und Mitglieder uns aufnahmen, hinausgeschaut. Der fränkische Raum ist bisher auf unserer Exkursionskarte noch ein weißer Fleck geblieben, was insofern bedauerlich ist, weil gerade von hier aus eine intensive naturwissenschaftliche Durchdringung dieses Gebietes seitens der verschiedenen landschaftskundlich interessierten Disziplinen der Universität Würzburg gegeben ist. Wir hoffen diesmal, unser bisheriges Versäumnis nachzuholen und freuen uns über die überaus große Bereitschaft so vieler Institute der Universität Würzburg, uns eine Gesamtschau in geschichtlicher, landschaftlicher, klimatischer und bodenkundlicher Hinsicht des interessanten unterfränkischen Raumes zu vermitteln. Wir danken daher dem Freistaat Bayern, insbesondere der Regierung von Unterfranken, der Stadt und der Julius-Maximilians-Universität Würzburg, daß sie uns so gastfreundschaftlich aufgenommen haben.

x) Göttingen, Nikolausberger Weg 7

Ich darf daher besonders herzlich begrüßen:

Herrn Regierungspräsidenten Dr. Günther
und als Vertreter des Rektors der Universität,
Herrn Prof. Dr. Zeidler

Das Leitthema unserer diesjährigen Tagung lautet:
"Die schweren Böden, ihre Morphologie, ihre chemische und physikalische Dynamik, ihre Entwicklungsprozesse, ihre Nomenklatur und Systematik und ihre Verbreitungs-Bedingungen."

In dieser Formulierung ist der wissenschaftlich nur unvollkommen definierbare Begriff "schwer" als Bodencharakteristikum enthalten. Mit seiner Hilfe soll aus dem breitem Spektrum der europäischen und außereuropäischen Bodenformen eine bestimmte Gruppe von Böden ausgesondert werden, die in einem einzelnen Merkmal, eben dieser sogenannten "Schwere", übereinstimmen und gewisse gemeinsame Nutzungsprobleme besitzen. Was bedeutet "schwerer Boden"?

Vorausgeschickt sei, daß sich bei der Formulierung unseres Tagungsthemas kein anderer Ausdruck fand, der wissenschaftlich prägnanter und treffender das zu behandelnde Objekt zu umreißen vermochte als dieser der Praxis entlehnte Begriff. Alle anderen Ausdrücke, wie z.B. "Tonböden", "Böden aus feinkörnigen Ausgangssubstraten", "kohärente Böden" usw., bedürfen zu vieler Einschränkungen oder Erweiterungen.

Im Grunde weiß auch jeder, was mit der Bodenbezeichnung "schwer" - im angelsächsischen "heavy" - gemeint ist. Diesbezügliche Norm-Vorstellungen sind heute weltweit verbreitet, so daß der Begriff aus seiner Relativität bereits weitgehend herausgehoben ist. Bei uns ist mit dem Begriff "schwer" zumeist die Assoziation "Pelosol", "Brackmarsch" oder z.B. "Graulehme", "Braunlehme" usw. verbunden, in außereuropäischen Gebieten z.B. der "Grumosol".

Schwierig wird aber die Abgrenzung der "schweren Böden" nach der Seite der Böden aus schluffig-lehmigen Substraten hin. Diese können durchaus noch ähnliche Strukturprobleme aufweisen wie die aus Tonen hervorgegangenen schweren Böden, obwohl in ihnen der Tonanteil auf 30 % und weniger absinken kann. Ganz generell ist ja der Begriff "schwerer Boden" nicht mit "ton-

reicher Boden" zu übersetzen. Einerseits besitzen unsere Rendsinen, deren Mineralanteil zu über 90 % aus Ton bestehen kann, aufgrund ihrer extremen Krümelstabilität mitunter einen ähnlichen Wasserhaushalt wie leichtere Böden aus Sand - andererseits können B-Horizonte von abgetragenen, extrem entwickelten Parabraunerden aus Löß, die um 30 % Ton enthalten, dabei allerdings schluffig sind, in ihrem hydrologischen Verhalten und in ihrer Strukturdynamik durchaus zu den "schweren" Böden gestellt werden.

Die eingereichten Vortragsthemen zeigen, welch eine Breite der Auffassung über die Abgrenzung der "schweren" Böden in diesem Übergangsbereich zu den "milderen" Lehmböden hier existiert.

Es sei noch einmal festgehalten, daß die Bezeichnung "Schwerer Boden" weder eine ökologische Abgrenzung gibt - obwohl sie in den meisten Fällen eine ökologische Prognose gestattet - noch etwas über das spezifische Gewicht aussagt oder eine definitive Aussage über die Textur beinhaltet. Es handelt sich vielmehr um einen gefühlsmäßig "ertasteten" Begriff der Praxis, der ein bestimmtes Verhalten des Bodens bei seiner Bearbeitung kennzeichnet und damit auf die Strukturdynamik hinzielt. "Schwere" Böden bedeutet damit etwa "strukturschwierige" Böden.

Eine erste Ordnung der vielen in der Praxis gebräuchlichen Bodenbezeichnungen von Seiten der Wissenschaft wurde erstmalig vor nunmehr 130 Jahren von CARL SPRENGEL vorgenommen. In seiner während der Lehrtätigkeit in Braunschweig und Göttingen herausgegebenen "Bodenkunde" ordnete er die gängigen Bezeichnungen der sog. "Bodenarten" je nachdem, ob sie die Lage, das Feuchtigkeitsverhalten, die Bodentemperatur, die Körnung, die Nährstoffversorgung, die biologische und chemische Tätigkeit, die auf dem Boden vorkommenden natürlichen Pflanzengesellschaften oder die spezielle Eignung für bestimmte Kulturpflanzen, ferner ihren Mischungsgrad und schließlich ihr Verhalten bei der Bearbeitung kennzeichnen. Unter diesem letzten Punkt nennt er dann die Begriffe "leicht","schwer" und - noch darüber hinaus - "strenge". Die beiden Bezeichnungen "schwer" und "strenge" decken sich dabei etwa mit unseren Vorstellungen der Praxis, die von den sog. "Stunden"- und "Minutenböden" spricht.

SPRENGEL definiert als "schwer" einen Boden, welcher sich bei Dürre nur mit Anstrengung umpflügen läßt und dabei Klöße und Schollen gibt, die

sich aber noch durch Egge und Walze zerkleinern lassen. Zu den schweren Bodenarten gehört der Fluß- und Seemarschboden, der feinkörnige mergelige Tonboden und der sehr feinkörnige Lehmboden (hier und da Floßlehm, Melmboden oder Lettenboden genannt). Zu den "zähen, strengen" Böden rechnet er den Boden, "welcher im trockenen Zustand nur mit großer Anstrengung umgepflügt werden kann und dabei harte, große Schollen liefert. Im feuchten Zustand bearbeitet, klebt er dagegen an die Ackerinstrumente, und wird er bei Nässe gepflügt, so klappt er in Schwarten um. Der Egge verwehrt er sowohl bei Dürre als bei Nässe den Zugang, so daß bei seiner Bearbeitung sehr genau ein gewisser Grad von Feuchtigkeit beobachtet werden muß, wenn er gehörig zerkrümelt werden soll. Hierzu gehören alle feinkörnigen Tonbodenarten, die nur wenig Humus und Kalk enthalten. Hier und da wird er auch wohl Klei oder Knick genannt."

Obwohl wir diesen Angaben SPRENGELS heute nach mehr als 100 Jahren zahlreiche weitere Meß- und Vergleichsdaten anfügen könnten, die das geschilderte Strukturverhalten näher erläutern würden, ändert sich doch nur wenig am Inhalt der von ihm seinerzeit gegebenen Definitionen, die somit noch immer klar und deutlich unser diesjähriges Tagungsobjekt umreißen.

SPRENGEL sagte schon selbst: "Obwohl die gewöhnlichen Kunstausdrücke" (Kunst hier etwa gleich Praxis), "womit man die in der Natur vorkommenden Bodenarten" (heute etwa Bodenformen)" bezeichnet, keinen großen wissenschaftlichen Wert haben, in dem viel Willkürlichkeit darin herrscht, und man z.B. hier einen Boden "schwer" nennt, welchen man an einem anderen Orte mit "leicht" bezeichnet "(Sprengel dachte dabei wohl an gewisse Böden der Grundmoräne in der östlichen Lüneburger Heide, z.B. den Ülzener "Klei"), "so können wir doch nicht umhin, Rücksicht darauf zu nehmen, da sie zu allgemein angenommen sind, um sie mit Stillschweigen zu übergehen; auch läßt sich nicht leugnen, daß mehrere der gebräuchlichsten Kunstausdrücke ebenso gut gewählt als richtig bezeichnend sind."

Welche Gründe haben uns veranlaßt, dies der Bearbeitungstechnik entlehnte Bodencharakteristikum "schwer" anläßlich unserer diesjährigen Tagung einmal isoliert als abgrenzendes Merkmal von Böden in den Vordergrund zu stellen?

Einer der nicht direkt wissenschaftlich-bodenkundlichen Gründe dafür, der jedoch heute drängend hinter allen anderen Überlegungen steht, ist landwirtschaftlich-ökonomischer Natur. Die Rentabilität der Bodennutzung ist unter

der Relation von Aufwand und Ertrag zu sehen und ist damit eng in das gesamtwirtschaftliche Geschehen eingeschachtelt. "Grenzböden" der landwirtschaftlichen Nutzung sind solche Böden, bei denen die Aufwands-Ertragsspanne im Rahmen der gegebenen Besitz- und Organisations-Struktur des landwirtschaftlichen Betriebes gleich O wird. Wir wollen aber einschalten: Grenzböden sind aber Böden, auf denen nicht nur die Praxis sondern auch die Wissenschaft leider versagt hat. Waren vor noch nicht 4 Jahrzehnten die "Grenzböden" unter unseren leichtesten Böden zu suchen, so stellen heute - und zwar in erschreckend weitem Umfange - gerade die schweren Böden "Grenzböden" dar. Die Ursachen dafür sind einerseits in der gleichgerichteten Tendenz der gesamtwirtschaftlichen Situation zu sehen, andererseits in den wissenschaftlich-technologischen Fortschritten des Landbaues. Sowohl die Verschiebung der Relationen von Lohn- und Bearbeitungskosten zu den Nährstoffpreisen als auch der Fortschritt der Mechanisierung, ferner die Verschiebung des Anbauspektrums aufgrund der veränderten Nachfrage und nicht zuletzt die Veränderung im Investitionsbedarf haben fast immer den Nutzungswert der leichten Böden erhöht, die schweren dagegen in steigendem Maße benachteiligt, so daß heute sogar Sandböden mit Bodenzahlen unter 18 (früher der Grenzzahl der Ackerwürdigkeit) in einigen Fällen vor Tonböden mit Bodenzahlen um 60 beim Kauf der Vorrang gegeben wird.

Diese Verschiebungen auf dem ökonomischen Sektor verlangen heute von uns, den schweren Boden, deren kulturtechnische und ackerbauliche Behandlung früher gegenüber den leichten Böden relativ vernachlässigt worden ist, in Zukunft größere Aufmerksamkeit zu widmen.

Dazu ist zunächst einmal erforderlich, näher unterscheiden zu lernen. In den leichten und mittleren Böden gestattet die in der Regel weniger gehemmte Perkolation des Niederschlagswassers eine rasche Entfaltung der chemisch bedingten Profilmerkmale, d.h. die Horizontierung, die Farb- und Strukturdifferenzen stellen visuell leicht faßbare Anhaltspunkte für die Bodenansprache dar. Bei den schweren Böden, deren Differenzierung im wesentlichen in der schwerer faßbaren Strukturdynamik liegt, gilt es dagegen noch, die typologischen Unterschiede klarer zu fassen. Unsere heutigen Kenntnisse über die systematisch-stratigraphische Gliederung der Marschen oder die Nomenklatur der schweren Böden der Mittelgebirgs-Landschaften, so z.B. die Feststellungen über die unterschiedliche Meliorationsfähigkeit oder Entwicklungsfreudigkeit, sind erst das Resultat der Forschung der letzten 10 Jahre, und viel Arbeit ist noch auf diesem Gebiet zu leisten.

Vergegenwärtigen wir uns einmal die Situation auf dem Gebiet der Bodenschätzung: Für die leichteren und mittleren Bodenarten - abgesehen von den Schluffböden - steht uns ein im großen und ganzen befriedigender Schätzungsrahmen mit mindestens 6 Unterscheidungs-Stufen zur Verfügung. Für die Bodenarten mit mehr als 40 % Ton, bei denen die Fingerprobe nur noch unvollkommene Resultate liefert und vielmehr Strukturmerkmale, wie z.B. Flockungsfähigkeit oder Durchlässigkeit, also hydrologische Merkmale, im Vordergrund stehen sollten, vermögen wir im Augenblick nur 2 Stufen (LT und T) zu unterscheiden und haben keine klaren Richtlinien für die weitere Untergliederung, z.B. nach sog. "Zustandsstufen", d.h. bodentypologischen Merkmalen.

So müssen also bei unserer diesjährigen Tagung neben der kulturtechnischen, ackerbaulichen und nährstoffökologischen Behandlung der schweren Böden gerade die typologischen und strukturdanymischen Gesichtspunkte als Grundlage der weiteren Betrachtung und zukünftiger Vergleiche einen breiten Raum einnehmen.

Der Raum Würzburg-Erlangen schien uns ein besonders geeigneter Tagungsraum zu sein, um diese Fragen einmal eingehender zu behandeln. Im fränkischen Raum, der während des Pleistozäns nicht in dem Maße wie die anderen Mittelgebirgsräume mit einer texturmäßig ausgleichenden und "mildernden" Lößdecke gesegnet wurde, ist das Problem der aus den mesozoischen Formationen hervorgegangenen schweren Böden gravierender als in anderen deutschen Landschaften. Die Exkursionen, die ausschließlich diesem Thema gewidmet sind, werden uns einen Überblick verschaffen, und gedankt sei hier allen Herren, die sich ihrer wissenschaftlichen und organisatorischen Vorbereitung gewidmet haben.

Ich darf meinen besonderen Dank Herrn Prof. Dr. Vogel, München, aussprechen und ihn bitten, diesen unseren Dank den zahlreichen Mitarbeitern zu vermitteln, die auch an der Fertigstellung des Exkursionsführers mitgearbeitet haben.

Erfreulich ist das starke Echo, das unsere diesjährige Themenstellung in allen Kreisen der deutschen Bodenkunde gefunden hat und das zeigt, daß die aufgeworfenen Probleme allgemein erkannt sind und ihre Bearbeitung in weitem Umfange in Angriff genommen ist. Dabei ist hervorzuheben, daß auch andere Disziplinen an unseren Fragestellungen interessiert sind - sind doch die schweren Böden nicht nur vom Standpunkt der land- und forstwirtschaftlichen Nutzung aus interessant. Der letzte Winter hat z.B. gelehrt, welche Aufmerksam-

keit diesen Böden im Straßenbau zu widmen ist, und wie eng Wirtschaft und Boden auch auf diesem Gebiet miteinander verkoppelt sind. Darüber hinaus spielen die schweren Böden auch in der keramischen Industrie eine nicht zu unterschätzende Rolle, und viele gemeinsam zu klärende Fragen tun sich hier auf.

Zum Schluß sei noch einmal allen Beteiligten gedankt, die mit ihren wissenschaftlichen Beiträgen zu dieser Tagung zu helfen bereit waren, das gestellte Problem der "Schweren Böden" vielseitig zu beleuchten und darzustellen.

Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft Bd. 1 S. 9 - 17, 1963

SCHWERE BÖDEN DER TROPEN UND SUBTROPEN

von W. L. Kubiëna [+)]

Eine einführende Abhandlung über schwere Tropenböden - ist das ein Thema für eine bodenkundliche Jahrestagung im deutschen Raum? Oder sollte es nicht allenfalls der letzten Hauptsitzung dieser Tagung vorbehalten bleiben, die ja ausschließlich den Böden der Tropen und Subtropen gewidmet ist? Es bedarf heute keines besonderen Aufwandes mehr, ein bodenkundliches Auditorium davon zu überzeugen, daß viele unserer Böden eine komplizierte, in geologische Vorzeiten zurückreichende Entwicklung gehabt haben, daß sie vielfach in Perioden mit tropischem oder subtropischem Klima gebildet worden waren. Das gleiche gilt von der Tatsäche, daß viele der Sedimente in Flußauen, Seen, in den Schelfregionen der Meere in ihrer Natur als erodierte Abschlämmassen terrestrischer Böden erkannt und diagnostiziert werden können. Die auf dieser Tatsache aufbauende polygenetische Betrachtungsweise läßt erkennen, daß die Ergebnisse der tropischen Bodenkunde immer mehr auch für die Bodenkunde der gemäßigten Klimagebiete von Bedeutung sind. Das gilt besonders für den Bereich der schweren Böden.

Die schweren Böden nehmen unter den Bodenbildungen der Tropen und Subtropen einen besonders großen Raum ein und zwar nicht nur in der Form von Bodensedimenten oder Sedimentgesteinen, die aus solchen entstanden sind, sondern auch in Form von terrestrischen Bildungen in situ. Wir finden sie sowohl im Bereiche des immerfeuchten äquatorialen Regenwaldes, wir finden sie auch in den wechselfeuchten Savannengebieten und sogar in den heutigen Trockenlandschaften sind sie keine seltene Erscheinung. Wie ist das zu erklären ?

Unsere gemäßigten Gebiete charakterisieren sich, wenn wir, wie das für die polygenetische Betrachtungsweise erforderlich ist, größere Zeiträume hierzu heranziehen, durch einen erheblichen Klimawechsel. Hier lösten Eiszeiten und feuchttemperierte Zwischeneiszeiten einander ab und vor dieser abnormen Periode, in der wir immer noch leben, lag ein weiterer Kontrast, das Vorhandensein subtropischer und sogar tropischer Umwelt-

[+)] Prof. Dr. W. L. Kubiëna , Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft, 2057 Reinbek b. Hamburg, Schloß

verhältnisse in unseren geographischen Breiten. In den Tropen gab es wohl feuchte und trockene Perioden, die einander ablösten, aber immer waren es Perioden tropischer Klimate. Zwischen unseren rezenten Böden und den reliktischen und fossilen Bildungen bestehen auffallende Kontraste, so daß sich die vorzeitlichen Bodenreste früherer Tropenklimate besonders stark abheben. In vielen Tropenlandschaften sind die vorzeitlichen Bodenformen von denen der Gegenwart kaum zu unterscheiden. Der Gegensatz tritt nur dort stark in Erscheinung, wo auf eine Serie von Feuchtklimaten ein Trockenklima folgte und auch weiterhin noch besteht.

In den Tropen braucht es zu der mehr oder minder gleichbleibenden Wärme nur noch eine erhöhte Feuchtigkeit, um einen Grad der chemischen Verwitterung auszulösen, wie er nirgends sonst auf unserer Erde beobachtet werden kann. Praktisch alle Gesteinsgemengteile werden in Ton, Sesquioxyde und freie kolloidale Kieselsäure umgesetzt, fast nur mit Ausnahme von Quarz und einigen stabilen Schwermineralien, wobei letzte nur von geringer Bedeutung für den Bodenaufbau sind. Selbst die Quarze zeigen Spuren von Lösungsverwitterung und können bei langer Einwirkung, wie in Altlateriten, durch Lösung weitgehend reduziert werden. Und noch eine Besonderheit kommt hinzu: die Produkte dieser Verwitterung sind, soweit dies überhaupt möglich ist, amorpher Natur. Nirgends auf der Erde findet man in terrestrischen Bodenbildungen so große Gehalte an amorphen Substanzen, wie in den Braunlehmen der immerfeuchten Tropen. Es gibt auf Erden überhaupt nur noch eine Steigerung in dieser Beziehung. Sie tritt dort ein, wo zufolge vulkanothermischer Einflüsse eine weitere Erhöhung der Temperatur bei gleichbleibender Feuchtigkeit erreicht wird und auf diesem Wege auch die sonst stets kristalline Tonsubstanz durch amorphane Allophantone ersetzt wird. Alle diese amorphen Substanzen sind in den Braunlehmen der immerfeuchten Tropen, für die sie besonders charakteristisch sind, in peptisierter Form, also in feinverteilter Aufschlämmung vorhanden. Sie bilden dichte, hohlraumarme, undurchlässige Gefüge von geringer Wasserstabilität, fließen breiartig auseinander bei übermäßigem Wassergehalt und werden schon bei relativ geringer Austrocknung fest und erlangen schließlich eine steinähnliche Härte. Wir haben in den Tropen schon bei Böden in situ das Problem der "schweren Böden" und dies nicht etwa auf Ton- und Mergelgesteinen, sondern schon auf den Eruptivgesteinen und Metamorphiten.

Aber die Probleme um die "schweren Böden" in den Tropen spitzen sich erst zu durch ein anderes Phänomen, das die polygenetische Bodenfor-

schung sehr beschäftigt, durch das der Umlagerung. Die Braunlehme der immerfeuchten Tropen, die uns aus einem besteimmten Grunde hierzunächst Modell stehen sollen, sind in ungewöhnlicher Weise erodierbar. Dies bestimmt bereits das Relief der Landschaft der immerfeuchten Tropen: ihre Tendenz, alle Reliefunterschiede auszugleichen, die Depressionen auszufüllen, Erhebungen abzutragen, die Flußufer zu verflachen. Die abfließenden Regenwässer sind reißende Schlammströme, die Bäche führen erbsengelbe Aufschlämmungen, die auch in dem stagnierenden Wasser der Tümpel lange nach dem Regen ihre grelle Farbe behalten: alles aufgeschlämmter terrestrischer Boden. Die starke Verschlämmbarkeit, der totale Gefügezerfall, die große Stabilität der Aufschlämmungen bestimmen den Charakter der Bodensedimente im Bereich der tropischen Braunlehme. Die Wiederablagerung erfolgt je nach der Geschwindigkeit des transportierenden Wassers nach Korngrößengruppen sortiert. In Flußnähe findet man die Grobsande von grellweißer Farbe: nirgends in anderen Teilen der Welt sind die Quarzkörner, aus denen sie bestehen, so völlig blankgewaschen und nur die weißen Tertiärsande in Mitteleuropa, die auf eine ähnliche Entstehung zurückgehen, sind so schlämmstoffrei und silikatarm wie sie. In den gelben Schluffsedimenten (z.T. auch Feinsandsedimenten) sind noch Reste von Schlämmstoffmassen enthalten. Am extremsten aber sind die Hochflutlehme und die Absätze in dem langsam fließenden Wasser der stark verbreiterten Estuarien und in den isolierten stagnierenden Gewässern. Hier sind die Bereiche der Absätze fast reiner Schlämmstoffe, der Bereich der schwersten Böden der Tropen und Subtropen. In den stehenden Gewässern tritt die Sedimentation unendlich langsam völlig peptisierter Kolloide ein, während in den Estuarien und der vorgelagerten Schelfgebiete weit ins Meer hinausreichend die Sedimentation eigenartig aufgequollener, gallertiger Aggregate von Braunlehmschlämmstoffen vor sich gehen, die etwa Schluffgröße, aber ein viel größeres Schwebevermögen als Schluffteilchen haben. Wo sich diese Braunlehmschlämmstoffe noch auf dem Festlande in weiten Ebenen absetzen, entstehen Anmoore über Gley- und Pseudogleybildungen, denn sie sind fast völlig wasserundurchlässig und trocknen bei den reichlichen Niederschlägen niemals aus. In Küstennähe sind es die schwarzen Schlammböden der Mangroven, die sich auf ihnen bilden. All diese Anmoorbildungen sind die Brutstätten der Schlafkrankheit; nur in diesen weichen, immerfeuchten Böden können die Larven der Tse-Tse-Fliege sich verpuppen und wieder ausschlüpfen. Die Schlafkrankheit ist demnach bodenabhängig, ihre Verbreitung steht mit dem Vorkommen derartiger Böden in engstem Zusammenhang.

All diese Bildungen sind schwere bis schwerste Böden, aber ihr Charakter tritt nicht so stark in Erscheinung wie in anderen Gebieten, da durch die ständige Überfeuchtung ihr Schlammcharakter in den immerfeuchten Klimagebieten so gut wie nie verloren geht. Anders ist es in den wechselfeuchten Regionen.

Hier wird das Problem der schweren Böden auch in den küstennahen Gebieten und im Bereich der Seebecken wesentlich verschärft. Der stark ausgeprägte jahreszeitliche Wechsel vollzieht sich im Boden noch in extremerer Form als über dem Boden. Der Boden ist weich und schlammig in der Regenzeit, bei geringerem Wassergehalt zäh und stark klebend, bei Austrocknung verhärtend, unbearbeitbar. Der Einfluß der Feuchtzeiten bewirkt Wasseranstau, Pseudovergleyung und Anmoorbildung. In der Trockenzeit entfaltet sich ein rein terrestrisches Bodenleben, etwa das einer Mullbildung. Der stete jahreszeitliche Wechsel der Biologie dieser Böden, der sich durch den Einfluß des Menschen nach der terrestrischen Seite verstärkt, läßt eine Humusform entstehen, die in ihren Eigenschaften zwischen dem Anmoor und dem Mull steht.

Dieser Tirshumus ist für eine Reihe tirsoider Bodenbildungen in verschiedenen Teilen der Welt typisch, wie für die Tirsböden Nordafrikas, von denen er den Namen bezogen hat, die andalusischen Schwarzerden, die Bujeos, die Regur, black cotton soils, viele margalite soils, die Schwarzerden Afrikas in der Nähe der Wendekreise u.a. Sie sind für wechselfeuchte tropische und subtropische Gebiete typisch und entwickeln sich in weiten Tälern und in Hügellandschaften vor allem in den Muldenlagen und an den Unterhängen, d.h. überall dort, wo sich die Undurchlässigkeit des Bodens in der Regenzeit am stärksten auswirkt. Die tirsoiden Böden fehlen als typische Bildungen der wechselfeuchten Tropen und Subtropen in den immerfeuchten Tropen; Anmoore und Sümpfe treten dort an ihre Stelle.

Eine andere Erscheinung geht mit diesen schweren Böden schon in den wechseldeuchten Tropen häufig parallel: die während der Regenzeiten mobilisierten Salze reichern sich in den Trockenzeiten an den Oberlächen und in den oberflächennahen Schichten der Böden vor allem der Reliefdepressionen an. Es entstehen Ssolontschake, häufiger noch Ssolonetze und ssolonetzige Braunlehme, die zu den schwersten und schwierigsten Böden der Welt gehören. Solche Salzböden sind besonders verbreitet in den küstennahen großen Ebenen (marismas), die in der Regenzeit häufig wasserbedeckt sind und in der regenfreien Zeit anstrocknen. Ihre ein-

zige Nutzungsmöglichkeit besteht im Anbau von bewässertem Sumpfreis. Unter den Bodensedimenten, die zur Entstehung schwerer Böden führen, treten neben Braunlehmsedimenten auch Rotlehmsedimente in den Vordergrund. Die erodierbaren Rotlehme sind die schweren bolusartigen Formen und nicht die durch rote Vererdung locker und strukturstabil gewordenen erdigen Rotlehme. Deshalb sind die Rotlehmsedimente zumeist ausgesprochen bolusartig und stehen in ihrem Charakter als "schwere Böden" den Braunlehmsedimenten kaum nach. Auch hier ist bei der Erosion und Ablagerung eine Kornsortierung eingetreten, so daß zuletzt praktisch nur Schlämmstoffmassen, die von winzigen Goethit- und Hämatitkristalliten durchsetzt sind, abgelagert werden. Auch die Rotlehmsedimente tirsifizieren, können Pseudovergleyung zeigen und können nach längerer Einwirkung bestimmter Humusformen (besonders unter Wasser) echte Vergleyung erfahren.

Kehren wir zu den Braunlehmen und Braunlehmsedimenten zurück, so ist zu sagen, daß sich die Umweltverhältnisse und ihre Wirkungen, ohne auf feinste Details einzugehen, nicht schematisieren lassen. Sie bleiben, wenn man auch gewisse Gemeinsamkeiten zugibt, immer noch sehr mannigfaltig. Aus unseren vergleichenden Untersuchungen in verschiedensten Tropengebieten Afrikas, Südamerikas, Zentralamerikas und zuletzt auch Asiens können wir sagen, daß sich die Wirkung der Standortverhältnisse bei schweren Böden von Braunlehmcharakter besonders deutlich abbildet, vor allem in ihrer Mikromorphologie. Die Wechselbeziehungen zwischen Bodengefüge und Standortvariationen sind so groß, daß man das Dünnschliffbild weitgehend zur Ermittlung der entscheidenden Standortunterschiede besonders in bodenklimatischer Beziehung heranziehen kann. Das ist meiner Meinung nach eine große Hilfe, denn die Ermittlung der Standortunterschiede durch kleinklimatische Untersuchungen wäre bei der Notwendigkeit, für die praktische Bodenberatung eine große Anzahl von Standorten beurteilen zu müssen, unmöglich. Wie kommt es, daß sich gerade Braunlehme für solche Untersuchungen besonders gut eignen? Der Braunlehm ist von allen Bodentypen mit intensiver Verwitterung der umwandlungsfähigste. Mikromorphologisch und entwicklungskundlich lassen sich fast alle Tropenböden von hohem Verwitterungsgrad vom Braunlehm ableiten. Dies hängt damit zusammen, daß der Braunlehm, wie wir bereits ausführten, den höchsten Gehalt an amorphen Verwitterungsprodukten hat und diese in hochpeptisierter, zum Teil diffusibler Form vorliegen. Der Braunlehm ist nur unter besonderen Umweltverhältnissen und zwar bei gleichbleibenden Temperatur- und Feuchtigkeitsverhältnissen in feucht-tropischen bis subtropischen Klimaregionen beständig und ändert schon bei verhältnismäßig kleinen Unterschie-

den dieser Umweltbedingungen seine Mikromorphologie. Er ist darum meines Erachtens für die Systematik, Entwicklungsforschung und Diagnostik der tropischen Bodenkunde der wichtigste Bodenbegriff. Ich will dies an einigen Beispielen demonstrieren. Das Braunlehmgefüge bewirkt leicht Staunässe. Der Grad ihrer Wirksamkeit läßt sich in einem gewissen Grade an der Intensität der Kristallisierung des amorphen Eisenoxydhydrats und dessen Umwandlung in Goethit erkennen. Die Ausscheidung erfolgt in Form von grellroten Flekken bis geschlossenen Kristallisationsfeldern, die mehr vereinzelt und weniger dicht (weniger opak) sind, als bei der beginnenden Laterisierung, bei den sogenannten lateritischen Fleckentonen. Zugleich tritt in der Grundmasse eine Enteisung ein, die dies durch eine auffallende Entfärbung anzeigt. Durch die geringe Stabilität der Grundmasse gelangt das Gefüge auch bei geringer Hangneigung schon in Bewegung, wodurch die Kristallisationsfelder sich isolieren und schärfer umgrenzen. Die verschiedenen Grade der Pseudovergleyung haben uns (neben anderen Bodenmerkmalen) bei der Beurteilung der Böden in Bezug auf ihre Anfälligkeit gegenüber der gefürchteten Panamakrankheit der Bananen sehr geholfen.

Bei der echten Vergleyung tritt ein anderes Gefügebild auf, das wir noch nicht völlig zu deuten wissen. Wesentlich ist, daß die Ferrioxydrate hier zunächst völlig reduziert werden, während bei der Pseudovergleyung die reduzierende Kraft der Bodenlösung relativ gering ist. Es gibt Gefüge, in denen wie bei unseren Stagnogleyen die Ferrioxydrate völlig verschwinden und erst aus Ferroverbindungen neu gebildet werden. Die Ausscheidungen in der grau gefärbten Grundmasse vollziehen sich ähnlich wie bei unseren Stagnogleyen in Form von lockeren wolkigen Flecken von tiefbrauner Farbe und unregelmäßiger Umgrenzung. Die Untersuchungen über diese Bildungen sind leider noch nicht abgeschlosssen.

Eine wichtige Veränderung schwerer Braunlehme und Braunlehmsedimente ist die braune Granulierung, ein Umwandlungsprozeß, der der braunen Vererdung vorangeht. Sie tritt besonders dann ein, wenn ein Braunlehmgefüge einem kühleren Klima mit ausgeprägtem Temperaturwechsel ausgesetzt wird. In den Tropen selbst ist eine schrittweise Änderung der Umweltverhältnisse in dieser Richtung bereits mit zunehmender Seehöhe gegeben. Die braune Granulierung, d.i. die Ausscheidung von amorphem Eisenoxydhydrat in Körnchenform und die durch Ballung entstehende braune Vererdung, tritt auch bei Intensivierung des Bodenlebens, besonders der Erdtermiten oder Regenwürmer in Erscheinung. Sie kann, wie Versuche in

Liberia zeigten, an denen wir teilgenommen haben, durch Mulchen und Kompostdüngung künstlich gefördert werden. Es scheint möglich, daß sich aus solchen Versuchen vielleicht ein praktisches Verfahren zur Vererdung schwerer Böden entwickeln läßt.

Eine gewisse Parallele hierzu stellt die rote Granulierung oder Rubefizierung dar. Hier tritt die Ausscheidung nicht in Form feinster Körnchen von amorphem Eisenoxydhydrat ein, sondern in Form von sehr kleinen Kristalliten von Goethit und Hämatit, die oft im Lichtmikroskop gar nicht erkannt werden können, sondern nur als roter Farbstoff in der Tonsubstanz auftreten. Die Rubefizierung in Bodensedimenten ist gewöhnlich allochthon, an anderen, für sie günstigeren Standorten vor sich gegangen, worauf an anderer Stelle bereits hingewiesen wurde. Durch die Kleinheit der Kristalliten werden diese auch mit den feinsten Schlämmstoffen mittransportiert und zeigen sich darum auch in den tonigsten Rotlehmsedimenten der stagnierenden Gewässer.

Der meistgenannte Umwandlungsprozeß tropischer Braunlehme ist die Laterisierung. Sie hat für schwere Böden spezielle Bedeutung, weil in ihnen die Leitfähigkeit für Stoffbewegungen durch Diffusion besonders groß ist. Freilich sind hierbei nicht die mit Schlackenbildung und Durchschlämmung verbundenen Endprodukte der Laterisierung gemeint, sondern jene der lange Zeit wenig bekannten und untersuchten Anfangsprozesse, die zur Bildung der lateritischen Fleckentone (mottled clays) führen. Wie der Name sagt, handelt es sich hierbei stets um sehr dichte Tone und Lehme u. zw. ursprünglich überwiegend von Braunlehm- oder Rotlehmcharakter. Diese Fleckentone haben mit den tropischen Pseudogleyen große Ähnlichkeit. Entwicklungskundlich unterscheiden sie sich von ihnen dadurch, daß ihnen als erste Entwicklungsphase eine allgemeine starke Anreicherung von diffusiblen Stoffen, vor allem von Eisenoxydhydrat vorangeht. Diese erhöhte Ausscheidung in Form von runden Konkretionen, braunen Spaltausfüllungen und Rindenbildungen um isolierte Bodenkomplexe erfolgt noch in amorpher Form.

Ähnlich wie bei der Pseudogleybildung setzt bald die Ausscheidung von kristallinem Eisenoxydhydrat in Form von zusammenhängenden Kristallisationsfeldern von Goethit, Hämatit ein, aber auch Ausscheidungen von Lepidokrokit, Maghemit können vorkommen. Die Bildung von Gibbsitkriställchen wird erst in einer späteren Phase sichtbar. Die Eisenausscheidungen sind kräftiger und dichter als bei der Pseudovergleyung, die Bildung von opaken Eisenaggregaten, die bei Pseudovergleyung selten ist, tritt besonders stark in den Vordergrund. Der Hauptunterschied gegenüber der Pseudovergleyung besteht darin, daß bei der Laterisierung ein langsamer, über große Zeiträume wirkender Prozeß vorliegt und

ein großes Nachschubreservoir von diffusiblen Ausscheidungsstoffen aus großen Nachschubräumen zur Verfügung steht. Für die standortkundliche Beurteilung ist von Bedeutung, daß für eine ungestörte Laterisierung eine gleichbleibende Durchfeuchtung und ein gleichbleibender Temperaturgang erforderlich ist, während Pseudovergleyung in wechselfeuchter Lage gut vor sich gehen kann und häufig in solcher zu finden ist.

Es bleibt noch übrig, etwas über die Art der schweren Böden in den tropischen und subtropischen Trockengebieten zu sagen. Wie ist die Bildung von schweren Tonböden in Trockengebieten mit ihrer geringen chemischen Verwitterung zu erklären? Wie kommt es, daß schwere Böden auch in Trockengebieten keine Seltenheit sind? Wir leben in einer Zeit der Trockenheitszunahme, die sich besonders stark in den Mediterrangebieten, in den Subtropen und den wechselfeuchten Tropen auswirkt. Das ist geologisch gesehen nicht neu, es hat sich vor uns in jeder Interglazialzeit wiederholt. Je mehr man dieser Frage nachgeht, desto mehr muß man erkennen, daß auch wir in einer Interglazialzeit und nicht in einer endgültigen Nacheiszeit leben. Unsere Bodenbildungen in Europa sind jenen der vorhergehenden Zwischeneiszeiten analog, d. h. es zeigt sich in der Gegenwart immer noch keinerlei Tendenz zu einer Rückkehr zu den normalen subtropischen bis tropischen Klimaverhältnissen, die in den Zeiten vor dem Pleistozän durch viele Jahrhundertmillionen hier geherrscht hatten. Im Pleistozän zeigte sich während der Eiszeit in den Tropen und Subtropen eine Feuchtigkeitszunahme. Ebenso wie sich die Vergletscherungsgrenze auf unserer Halbkugel beträchtlich von den Polarlandschaften nach dem Süden verschob, so verschob sich in den Tropen die Grenze der Feuchtböden nach dem Norden. In den Interglazialzeiten trat polwärts und äquatorwärts eine rückläufige Bewegung ein. Die Feuchtböden sind auch in der Gegenwart regressiv, die Trockenböden sind progressiv. Die Tendenz der Trockenheitszunahme wird durch die starken Eingriffe des Menschen in die Landschaft in der Gegenwart noch verstärkt und nimmt für viele Länder der Subtropen und wechselfeuchten Tropen katastrophale Ausmaße an. Unter den rezenten Böden überwiegen zwar die Trockenböden, aber die Böden der vorangehenden Feuchtperioden sind noch da. Die Relikt- und Fossilböden deuten überall auf die oben angeführte Entwicklung hin. Sie sind gut erhalten und nutzbar, wo die Möglichkeit der Bewässerung für sie gegeben ist. Wo dies nicht der Fall ist, stehen bezüglich ihres Schicksals zwei Möglichkeiten im Vordergrunde. Schwere Böden in extremen Trockengebieten unterliegen entweder einem Zerfall durch Zerstaubung oder einer Erstarrung durch irreversible Verhärtung, die fast gleichbedeutend mit einer Petrifizierung ist. Die

verstaubten Böden und Bodensedimente werden zu großem Teile durch Winderosien entfernt und das Feinmaterial durch die Lüfte über die benachbarten Landmassen und Meere vertragen. Die Verhärtung führt zu felsähnlichen Formen mit wetterfesten Steilwänden oder zu Sedimentmassen, die durch eine langsame Erosion in harte, scharfe, vielverzweigte Grate und Hohlformen zergliedert wird.

Mir war mit meiner Abhandlung die Aufgabe gestellt, eine Einführung in das Wesen und die Entstehung der schweren Böden der Tropen und Subtropen zu geben. Es wird im weiteren Verlauf der Tagung der DBG noch drei Tage lang über den Gegenstand gesprochen werden. Auch ich konnte und durfte darum von vornherein nicht versuchen, vollständig zu sein. Ich habe mich vielmehr bemüht, tunlichst solches Material zu bringen, das mit den Inhalten späterer Beiträge möglichst wenig kollidiert. Ich hoffe, daß mir das in halbwegs zufriedenstellender Weise gelungen ist.

Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft Bd.1 S. 19-26, 1963

DIE DUNKLEN TONBÖDEN DER TROPEN, IHRE EIGENSCHAFTEN, ENTSTEHUNG UND NUTZUNG

A. Finck[x)]

Einleitung

Aus der Vielzahl schwerer Böden der Tropen und Subtropen (Kubiena, 1963) soll im folgenden ein Überblick über die spezielle Gruppe der "Dunklen Tonböden der Tropen und Subtropen" gegeben werden. Von dieser Gruppe, die zwar einen großen Anteil, aber nicht alle Tonböden mit dunkler Farbe umfaßt, sind Einzelglieder schon seit langem der Wissenschaft bekannt (wie z.B. der "Regur" in Indien), jedoch als natürliche Einheit ist sie erst neuerdings klarer erkannt worden. Diese relativ späte Erkenntnis der systematischen Zusammengehörigkeit einer Reihe von tropischen Böden wird verständlich, wenn man sich ihre geographische Verbreitung vergegenwärtigt. Die dunklen Tonböden kommen verstreut in vielen Kontinenten (überwiegend im Savannengürtel) vor (Dudal, 1963). Sie bedecken insgesamt eine Fläche von etwa 235 Millionen Hektar, was in der Größenordnung der Fläche Westeuropas entspricht.

Aus der Vielzahl der Lokalnamen (Regur in Indien, Tirs in Marokko, Bardobe im Sudan, Margalitische Böden in Indonesien) hat sich keiner für die gesamte Gruppe durchzusetzen vermocht, ebensowenig wie die Bezeichnung "Subtropische Schwarzerden", da zum Tschernosem trotz aller Analogien doch erhebliche Unterschiede bestehen. Im Hinblick auf die krümelige Struktur des Oberbodens haben Oakes und Thorp (1950) als Gruppenbezeichnung den Namen "Grumusol" eingeführt (latein. grumus = Krümel). In der "7th Approximation" (Soil Survey Staff, 1960) ist das Grumusol-Konzept weitgehend übernommen worden, die Bezeichnung jedoch in "Vertisole" (latein. vertere = wenden) geändert, um vor allem die starke Quellungskraft dieser Böden zum Ausdruck zu bringen. Da die Bezeichnungen "Grumusole", "Vertisole" oder

x) Institut f. Pflanzenernähr. u. Bodenkunde d. Universität Kiel, Olshausenstr. 40 - 60.

der neutralen Ausdruck "Dunkle Tonböden der Tropen" z.Z. etwa gleichberechtigt nebeneinander stehen, soll im folgenden die ältere der Kurzbezeichnungen verwandt werden, nämlich Grumusol. Die systematische Stellung der Grumusole wird zwangsläufig in den verschiedenen Systemen unterschiedlich sein. Nach dem US-System von 1938 (Baldwin et al.) können sie als intrazonale und speziell calzimorphe Böden bezeichnet werden. Damit käme zum Ausdruck, daß neben dem Klima auch das Ausgangsgestein für die Entstehung dieser Böden maßgeblich verantwortlich ist. Kubiena (1957) bezeichnet eine Reihe dunkler Böden auf Grund der Humusform als "Tirsoide Böden". Dies Konzept schließt (verglichen mit dem der Grumusole) eine größere Anzahl von Böden ein, und nicht alle tirsoiden Böden gehören zu den Grumusolen.

Eigenschaften

Grumusole sind montmorillonitische Tonböden mit dunkler Farbe des Oberbodens und einem A/C-Profil. Diese Kurzfassung der Definition gilt für den größten Teil der Grumusole, deren Variationsbreite jedoch damit nicht voll umfaßt ist. Die Textur variiert vom Ton bis zum Lehm. Die Farbe des Oberbodens ist häufig schwarz bis grauschwarz, gelegentlich jedoch auch dunkelbraun. Innerhalb des A-Horizontes findet man keine starke Differenzierung, was durch die starke physikalische Durchmischung bedingt ist.

Eine moderne Profilbeschreibung eines typischen Regurs gibt Simonson (1954):

A_{1p}	0-20 cm	dunkel-graubrauner Ton; im feuchten Zustand geringfügig hart, im feuchten krümelig, im nassen zäh und plastisch; granulare Struktur; Konkretionen.
A_{12}	20-75 cm	dasselbe Material, aber schwach blockige Struktur.
A_3	75-95 cm	dasselbe Material, aber abnehmende Dunkelfärbung.
C_{Ca}	95-130 cm	gefleckter, leicht gelblichbrauner, bräunlichgrauer, bleichbrauner Lehm, im trockenen Zustand weich, im feuchten krümelig, im nassen leicht plastisch; Kalkkonkretionen; dieser Horizont scheint aus gut verwittertem Gestein mit Kalk-Akkumulation zu bestehen.

C 130-280 cm gefleckter, leicht gelblichbrauner, bräunlichgrauer, bleichbrauner Lehm; verwittertes Gestein ohne Kalk-Akkumulation.

Die typischen Merkmale der Grumusole haben Oakes und Thorp (1950) zusammengestellt:

1. tonige Textur, montmorillonitische Tonminerale vorherrschend,
2. kein Eluvial- oder Illuvial-Horizont (Ton oder Eisen).
3. granulare (krümelige) Struktur des Oberbodens, blockige oder massive Struktur des Unterbodens,
4. schwach alkalische (für Kalkböden typische) Bodenreaktion,
5. hoher Expansionskoeffizient bei Befeuchtung, tiefe Schrumpfrisse bei Trockenheit,
6. Gilgai-Mikrorelief (fehlt bei gewissen Formen),
7. im nassen Zustand extrem plastische Konsistenz,
8. Umtauscher weitgehend Ca-gesättigt,
9. A-Horizont meist mächtiger als 75 cm, mindestens aber 25 cm,
10. dunkle Farbe geringer Farbstärke,
11. häufig 1-3 % organische Substanz im Oberboden und Abnahme mit der Tiefe,
12. geringe Verwitterung.

Zur chemischen Kennzeichnung sei folgende Tabelle angeführt:

Tabelle 1: Chemische Charakteristika einiger Grumusole
(Daten der 0-30 cm Lage, Extremwerte nicht berücksichtigt)

Finck, 1961

Merkmal	Houston Black Clay (Texas)	Regur-Gruppe	Gezira-Boden
Tongehalt %	58-61	40-60	45-65
vorherrschender Ton-Typ		montmorillonitisch	
Umtauschkapazität für Kationen			
mval/100 g Boden	etwa 60	40-60	45-65
mval/100 g Ton	100	100	100
im Ionenbelag vorherrschend	Ca	Ca	Ca
Austausch-Na %	gering	variabel	10 %
pH		schwach alkalisch	
organ. Kohlenstoff %	0,8 - 3,0	0,3 - 0,8	0,3 - 0,7
organ. Stickstoff %		0,3 - 0,06	0,02-0,04

Die Ursache der schwarzen Farbe vieler Grumusole in Anbetracht des geringen Humusgehaltes ist lange Zeit ein Rätsel gewesen. Da die Farbe nach der H_2O_2-Behandlung weitgehend erhalten blieb, schloß man ursprünglich auf anorganische Substanzen (z.B. Magnetit). Neuerdings konnte jedoch Singh (1954) zeigen, daß das färbende Agens doch Humus ist. (Das Superoxyd war, ehe es zur Wirkung kommen konnte, von Manganoxyden zersetzt worden). Die starke Färbekraft der geringen Humusmenge kommt dadurch zustande, daß der Humus auf den großen Oberflächen des Montmorillonits farblich stark zur Wirkung kommt.

Der hohe Montmorillonitgehalt dieser Böden bewirkt ein extrem starkes Quellen und Schrumpfen. Diese Bewegung verstärkt sich noch durch folgenden Prozeß. In der Trockenzeit wird in die Schrumpfrisse lockerer Boden verlagert. Bei Befeuchtung bewirkt dies verlagerte Material einen zusätzlichen seitlichen Quellungsdruck, der zum sog. "Selbstmulchen" vieler Grumusole führt. Darüber hinaus bewirkt die starke Bodenbewegung auf vielen Grumusolen eine natürliche Musterung der Bodenoberfläche, das sog. "Gilgai-Phänomen". Es tritt in einer Vielzahl von Typen auf, wobei kreisförmige Erhebungen oder wellenförmige Furchenlinien am häufigsten sind.

Pedologisch ist noch die Abgrenzung von den Tschernosemen, die mit den Grumusolen auch manche Eigenschaft gemeinsam haben (wie z.B. die Bicarbonatmetabolik nach Scheffer, Fölster und Meyer 1960) von Interesse. Nach Tamhane (1950) weist der Regur u.a. folgende differenzierenden Merkmale zum Tschernosem auf: das Vorkommen im Klima ohne Winterkälte, das starke Überwiegen der potentiellen Verdunstung über die Regenfälle, das Auftreten von tiefen Trockenrissen, der niedrige Humusgehalt, das Fehlen von Streuauflagen, das häufige Vorkommen von eisenhaltigen Konkretionen und das Fehlen von Krotowinen.

Entstehung

Grumusole bilden sich aus feinkörnigen, basenreichen Ausgangsmaterialien, z.B. tonreichen Basalt- oder Kalkverwitterungsprodukten, kalkhaltigen Ablagerungen von Gewässern etc. Die klimatischen Bedingungen sind meist die des Savannenklimas. Die Niederschläge variieren von 150 - 2 000 mm pro Jahr. Sie konzentrieren sich in einer Regenzeit, was zu einer zeitweiligen Wassersättigung des Bodens ohne kontinuierliche starke Auswaschung führt (Dudal, 1963).

In dem schwer durchlässigen Ausgangsmaterial verbleiben die freigesetzten Verwitterungsprodukte daher weitgehend im Boden, und ein hoher Anteil an Erdalkalien (besonders Magnesium) fördert die Bildung montmorillonitischer Tonminerale. Gelegentlich hat auch bereits das Ausgangsmaterial einen nicht unbeträchtlichen Montmorillonitgehalt. Mit der Humusbildung entsteht ein A-Horizont, dessen Vertiefung durch die starke Bodenbewegung gefördert wird. Auf einheitlichem Ausgangsmaterial kann man die Tiefe des A-Horizonts als Klimafunktion deuten. So nimmt z.B. am Südrand der Sahara die Mächtigkeit des A-Horizontes von Nord nach Süd zu. Im extrem heißen Klima findet man gelegentlich ein Maximum des Humusgehaltes im Unterboden, was als Folge eines Humusabbaues an der Oberfläche gedeutet werden kann.

Die Genese von Grumusolen bietet gute Beispiele für die Faktorenkompensation innerhalb der Faktoren der Bodenbildung (Dudal, 1963) Stärkere Basenauswaschung kann durch höheren Erdalkaligehalt des Substrates kompensiert sein, geringerer Erdalkaligehalt durch Basenzufuhr mit seitlichem Zugwasser, geringere Niederschläge durch Überflutungen etc. Diese Ersatzmöglichkeiten erklären das Vorkommen der Grumusole unter recht unterschiedlichen Bedingungen (selbst außerhalb der heißen Zone).

Nutzung

Zwar gehören die Grumusole heute zu den bedeutsamsten Landreserven für Neukultivierungen, aber sie werden bisher aus verschiedenen Gründen, u.a. wegen ihrer schweren Bearbeitbarkeit, nur in geringem Umfange intensiv genutzt. Wo z.B, wie am Südrande der Sahara Grumusole und Sandböden nebeneinander vorkommen, beackern die Eingeborenen nicht die nährstoffreichen schweren Tonböden, sondern die zwar nährstoffarmen und trockenen, aber leicht bearbeitbaren und gut durchwurzelbaren Sandböden.

Im Gegensatz zur oft geringen aktuellen Produktivität der Grumusole (speziell unter ariden Bedingungen) steht ihre große potentielle Produktivität, wenn die Bearbeitung durch motorisierte Zugkraft erleichtert und die Wasserversorgung sichergestellt wird. Angebaut werden können: Baumwolle, Zuckerrohr, Getreide (Hirse, Mais, Weizen, Reis), Ölfruchte etc.

Grumusole bieten für die Pflanzenproduktion folgende Vor- und Nachteile (Dudal, 1963). Zu den Vorteilen vieler Grumusole gehört ihr Reichtum an

Nährstoffen (häufig allerdings außer Stickstoff), ihr guter Kalkzustand, ihre gute Oberbodenstruktur im trockenen Zustand, ihre große Wasserhaltekraft und eine gute biologische Aktivität der Krume. Nachteilig sind oftmals ihre geringe Durchlässigkeit für Wasser, Luft und Wurzeln, ihre Bodenbewegung (die Störungen des Wurzelwachstums verursachen kann), ihre Plastizität im feuchten Zustand (die eine gute Durchlüftung erschwert) und ihre Härte im trockenen Zustand.

Die wechselnde Kombination von Vor- und Nachteilen spiegelt sich deutlich in den Erträgen der Kulturpflanzen. Um dies zu verdeutlichen, ist es notwendig, sich auf einen bestimmten Grumusol zu beschränken. Hier wird derjenige der Sudan-Gezira gewählt.

Außer einer starken zeitlichen Ertragsvariation (die u.a. als Klima-Einfluß über den Boden zu deuten ist) zeigt sich eine ausgeprägte lokale Ertragsvariation (ein Ertragsmosaik) und schließlich die als "Randeffekt" bezeichneten Ertragsunterschiede auf kleinstem Raum, die vermutlich durch bessere Sauerstoffversorgung der Randreihen bedingt sind.

Die Frage nach den Ursachen des Fruchtbarkeitsmosaiks führt zum Problem der Bewertung dieses Bodens (Finck, 1963). Aus der Fülle der Probleme sei hier die Beziehung zwischen Textur und Ertrag herausgegriffen. Während in Europa und auch z.B. in Bewässerungsgebieten Californiens die Beziehung zwischen Tongehalt und Ertrag eine Parabel mit dem Maximum beim Lehm darstellt, zeigt sich im trockenheißen Bewässerungsgebiet der Gezira eine positive lineare Korrelation: Je höher der Tongehalt, desto höher der Baumwollertrag (nachgewiesen im Bereich bis zu 70 % Ton). Die Ursache dieser positiven Abhängigkeit ist wahrscheinlich in der mit Tongehalt steigenden Permeabilität zu suchen. Da die feste Substanz des Gezira-Bodens praktisch wasserundurchlässig ist und die Durchlässigkeit daher fast ausschließlich von der Größe der Schrumpfrisse abhängt, scheint ein tonreicherer Boden wegen des stärkeren Aufreißens durch Schrumpfrisse eine bessere Permeabilität zu haben. Der oben erwähnte scheinbare Widerspruch zwischen der parabelförmigen und der linearen Abhängigkeit der Erträge vom Tongehalt wäre also eliminiert, wenn man statt des Tongehaltes die Permeabilität des Bodens gegen die Erträge auftrüge. Bei höheren Tongehalten steigt oder fällt die Durchlassigkeit je nach der Art des Tones, nach dem Schluffgehalt und nach den sonstigen Gegebenheiten.

Von den für eine Bewertung bedeutsamen chemischen Daten seien vor allem Stickstoff- und Salzgehalt sowie der Natrium-Anteil am Sorptionskomplex genannt.

Zusammenfassung

Es wird über die "Dunklen Tonböden der Tropen" referiert, deren Zusammengehörigkeit wegen ihrer weiten geographischen Verbreitung erst neuerdings stärker offenbar geworden ist und die u.a. als "Grumusole" bezeichnet werden. Grumusole sind montmorillonitische Tonböden mit dunkler Farbe des Oberbodens, einem A/C-Profil und schwach alkalischer Bodenreaktion. Sie bilden sich im Savannenklima auf schwer durchlässigem, Erdalkali-reichem Ausgangsmaterial. Obwohl bisher nur in geringem Umfange intensiv genutzt, stellen die Grumusole eine große potentielle Landesreserve für Neukultivierungen dar. Ein wichtiges Kriterium für ihre Bewertung ist der Tongehalt.

Literatur

Baldwin, M., Kellogg, C. E., and Thorp, J.: Soil classification. In: Soils and Men. Washington: U.S.D.A. 1938.

Dudal, R.: Dark clay soils of tropical and subtropical regions. Soil Sci., Baltimore 95, 264-270, 1963.

Finck, A.: Classification of Gezira clay soil. Soil Sci., Baltimore 92, 263-267, 1961.

Finck, A.: Tropische Böden, Hamburg: Parey 1963.

Kubiena, W, L.: Neue Beiträge zur Kenntnis des planetarischen und hypsometrischen Formenwandels der Böden Afrikas. Stuttgart. Geograph. Studien 69, 50-64, 1957.

Kubiena, W.L.: Schwere Böden der Tropen und Subtropen. Vortrag Tagung Deutsch. Bodenkundl. Ges., Würzburg 1963.

Oakes, H. , and Thorp, J.: Dark-clay soils of warm regions variously called Rendzina, Black Cotton Soils, Regur, and Tirs. Proc. Soil Sci. Soc. America 15, 347-354,1950.

Scheffer, F., Fölster, H., und Meyer, B.: Zur Entstehung von Schwarzerden und schwarzerdeartigen Böden . I. Der indische Regur als Beispiel für tropische Schwarzerdebildung. Chem. d. Erde 20, 302-330, 1960.

Simonson, R.W.: Morphology and classification of the Regur soils of India. J. Soil Sci. 5, 275-288, 1954.

Singh, S.: A study of the black cotton soils with special reference to their coloration. J. Soil Sci. 5, 289-299, 1954.

Soil Survey Staff: Soil classification, a comprehensive system. 7 th Approximation, Washington: U.S.D.A. 1960.

Tamhane, R.V.: "Regur" soils of India. Trans. fourth int. Congr. Soil Sci. 3, 131-134, 1950.

Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft Bd.1 S. 27-30, 1963

DIE SCHWEREN BÖDEN EUROPAS

von E. Mückenhausen, Bonn +)

Unter schweren Böden sollen hier solche mit über 40 % Ton (Teilchen $<2\mu$) und hohem Schluffgehalt verstanden werden. Diese Böden besitzen einen spezifischen Wasser- und Lufthaushalt. Auf Grund dieser und noch anderer, durch die tonige Bodenart bedingter Eigenschaften unterscheiden sie sich deutlich von anderen Böden. Besonders augenfällig ist die Schrumpfung und Spaltenbildung bei der Austrocknung und die Quellung bei der Wasseraufnahme. Während die Schrumpfung den Luftzutritt tief in den Boden schafft, ist der gequollene Boden weitgehend undurchlässig für Wasser und Luft. Mehr als bei anderen Böden wirkt sich das Relief aus, d.h. kuppige und hängige Lagen sind trockener, während ebene und muldige Lagen leicht vernässen. Die biologische Aktivität ist vorwiegend auf eine geringmächtige Oberflächenschicht beschränkt. Die chemischen Reaktionen betreffen ebenfalls vorwiegend den obersten Horizont, daneben auch die Oberfläche der Gefügeaggregate in tieferen Zonen.

Die Eigenschaften der schweren Böden werden hauptsächlich variiert jeweils durch die Anteile an Ton und Schluff, durch die Art und Anteile der Tonminerale, durch den Kalk- bzw. Calciumgehalt sowie die Menge an Pflanzennährstoffen. Im Hinblick darauf spielt das Ausgangsgestein für die Eigenschaften der schweren Böden eine ausschlaggebende Rolle.

Die schweren Tonböden sind in der Systematik der Böden Deutschlands als Klasse der Pelosole von den anderen terrestrischen Böden getrennt worden. Es wird nötig sein, in Zukunft mehrere Pelosol-Typen herauszustellen. Voraussichtlich werden dabei die vorhandenen Tonminerale das entscheidende Kriterium sein.

Die pedogenetische Entwicklung der schweren Böden ist verschieden. Relativ selten finden wir das A-C-Profil; es ist auf die jungen Abtragungsflächen (Kuppen, Rücken, hohe Hanglagen) beschränkt.

+) Anschrift des Verfassers: Prof. Dr. Dr. E. Mückenhausen,
53 Bonn / Rhein , Nußallee 13

Bei weiterer Bodenentwicklung bildet sich unter dem A-Horizont ein P-Horizont. Letzterer entsteht durch Auflösung des festen, schiefrigen (bei Tonschiefer) oder des halbfesten, plattigen oder bröckeligen (bei Schieferton, halbfestem Mergel und Ton) Gesteinsgefüges. Dabei entsteht eine plastische Tonmasse, die charakteristisch für den P-Horizont ist. Oft wird bei diesem Aufweichungsprozeß durch die Oxydation von Eisen, häufig verursacht durch Staunässe, ein rostfleckiger P-Horizont geschaffen. Das aus Mergel entstehende Solum wird bei der Bildung von A- und P- Horizont entkalkt. Nur selten befinden sich A- und P-Horizonte des Pelosol in autochthoner Lagerung, vielmehr ist das Solum durch Solifluktion oder Rutschung verlagert worden, meistens nur über eine kurze Strecke. In manchen Fällen ist diese Verlagerung nicht oder nur unsicher nachzuweisen. Trotz der tonigen Bodenart erfolgt in vielen Pelosolen eine Tondurchschlämmung, die sich hauptsächlich auf den Gefügespalten vollzieht, jedoch innerhalb der obersten 20 cm in der gesamten Bodenmasse stattfindet. Infolge des schweren und dichten Bodenmaterials kommt es leicht zur Staunässebildung, wodurch Übergänge vom Pelosol zum Pseudogley entstehen.

Die wichtigsten Vorkommen schwerer Böden in Europa sind:

1. Schwere, calciumarme Böden (Pelosole) aus Tonschiefer und Schieferton des Paläozoikums, hauptsächlich im Rheinischen Schiefergebirge, im Harz, in der Bretagne und in Wales vorkommend. Fast nur kommt die Nutzung durch Grünland und Wald in Frage. Die Flächen sind nicht groß, denn die meisten Böden dieser Mittelgebirge sind infolge eines höheren Feinsand- und Schluffgehalts leichter.

2. Schwere, calciumarme Böden (Pelosole) aus weichem Schieferton und Tongestein des Röts, des Keupers, des Juras, der Kreide und des Tertiärs. Auch diese schweren Böden sind fast ausschließlich nur für Grünland und Wald geeignet. Diese Pelosole haben weite Verbreitung in Südengland, Süddeutschland, mit kleineren Flächen in Mittel- und Westdeutschland, Südwestfrankreich, Italien und Spanien.

3. Schwerer, fossiler Graulehm, entstanden aus ton- und schluffreichen Gesteinen des Paläozoikums und Mesozoikums. Autochthone Profile gibt es nicht; der Graulehm erfuhr im Pleistozän eine mehr oder weniger starke Umlagerung. Trotz eines relativ niedrigen Tongehaltes von selten mehr als 35 % wirkt dieser Graulehm schwer; er ist dicht, plastisch sowie kohärent und nur als Grünland und Wald nutzbar. Die Vorkommen von Graulehm in den Mittelgebirgen Mitteleuropas sind relativ klein.

4. Schwere, calciumreiche Böden (Pelosole) aus Tonmergel des Röts, des Keupers, des Juras, der Kreide und des Tertiärs. Die meisten dieser calciumreichen Pelosole birgt die Keuper-Abteilung der Trias. Diese calciumreichen Pelosole besitzen ein günstigeres Makrogefüge, und dadurch sind Wasser-und Lufthaushalt günstiger als bei den Pelosolen aus kalkfreien Tongesteinen. Sie können auch dem Ackerbau dienen und sind sogar für den Anbau von Weizen, Rotklee und Luzerne geeignet. Die Verbreitung ist die gleiche wie dies der Böden bei 2.).

5. Schwere Smonitza oder Smolniza des Balkans, die aus tertiärem Tonmergel entstand. Teils ist die Smonitza aus montmorillonitreichem Tonmergel hervorgegangen; in diesem Falle besitzt sie den Selfmulching-Effekt und ist identisch mit dem Grumusol der USA. Die illitreiche Smonitza zeigt dieses Phänomen nicht.

   Der Smonitza ähnlich ist die Schwarzerde aus tertiärem Tegel in Österreich, der schwarze Mediterranboden aus tertiärem Tonmergel in Italien und Sizilien, die andalusische Schwarzerde aus miozänem Tonmergel in Spanien und die Barrosböden aus basischem Kristallin in Portugal.

6. Schwere braune und rötlichbraune Mediterranböden aus Silikatgesteinen, der Mittelmeerländer, die identisch sind mit den zimtfarbenen Waldböden der osteuropäischen Bodenkundler, teils mit dem Braunlehm W. L. Kubienas. Diese Böden sind meist stark durchschlämmt und in ebenen Lagen staunass und nassgebleicht. Im Norden Spaniens gibt es einen Tonboden aus miozänem Tonmergel, der als kastanienfarbiger Boden bezeichnet wird, aber mit den Mediterranböden verwandt ist.

7. Schwere Böden aus pleistozänem Bänderton, der teils kalkhaltig und teils kalkfrei ist. Er kommt in Schweden, Finnland und im nordwestlichen Polen vor. Mehrmaliges Durchfrieren besorgt zum Frühjahr ein gutes Splitter- oder Krümelgefüge. Teilweise ist eine Durchschlämmung festzustellen. Diese in Niederungen liegenden Böden sind nach der deutschen Nomenklatur Gley-Pelosol und Pelosol-Gley.

8. Schwere Gyttja Schwedens, die ehemals unter Wasser entstand und heute trocken gelegt und landwirtschaftlich genutzt ist. Der Tongehalt beträgt um 40 %, trotzdem wirkt diese Gyttja schwer. Sie besitzt etwa 3 % organische Substanz, die bei Trockenlegung eine starke Rissbildung verursacht, wodurch sich die Dränung erübrigt. Bei der Entwässerung oxydiert das Schwefeleisen, der Boden versauert, wenn nicht ausreichend Kalk (meist vorhanden) dies verhindert.

9. Schwere Marschen der Meeresküste, die wir heute in die Bodentypen Seemarsch, Brackmarsch, Flußmarsch und Moormarsch unterteilen.

10. Schwere Böden der Flußniederungen, in denen das Grundwasser teils höher, teils tiefer steht. Dementsprechend gibt es Übergänge zwischen dem Pelosol und den semiterrestrischen Böden. Diese schweren Böden sind aber in der pedogenetischen Ausbildung nicht nur vom Grundwasserstand und von den Grundwasserschwankungen, sondern auch von dem sie aufbauenden Material abhängig. Dieses wiederum steht in Abhängigkeit vom Einzugsgebiet des betreffenden Flusses. So haben wir in Mittel- und Nordeuropa neben den Übergängen vom Pelosol zum Gley solche vom Pelosol zum braunen Auenboden (auch braune Vega genannt), während W.L. Kubiena aus den Flußtälern Südeuropas schwere Braunlehm-Vega, Rotlehm-Vega und Roterde-Vega beschrieben hat. Ferner gibt es schwere schwarzerdeähnliche Auenböden der Flußniederungen, wie z.B. im weiten Delta der Weichsel.

11. Schwere Böden aus präquartären Carbonatgesteinen. Aus diesen entsteht zunächst die Rendzina, die als toniger Boden wegen eines hohen Gehaltes an Humus, Calciumcarbonat und Steinen nicht schwer wirkt. Erst bei fortgeschrittener Bodenbildung werden die Böden aus Carbonatgesteinen schwerer, vor allem wenn das Stadium der Terra fusca und Terra rossa erreicht ist. Letztere Böden finden wir verbreitet in Südeuropa.

Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft Bd.1 S.31-40 1963

Profilaufbau verschiedener Marschböden

von J.-H. Benzler [x)]

In der Klasse der Marschböden fassen wir (nach W. MÜLLER) diejenigen semiterrestrischen Böden zusammen, deren Aufbau und Dynamik durch die Sedimentation unter Einfluß des Meeres (Salzgehalt, Meeresspiegelschwankungen, Gezeitenbewegung, Sedimentanlieferung) maßgeblich bedingt sind. Nach ihren physikalischen und chemischen Eigenschaften, insbesondere der Durchlässigkeit und Kationenbelegung (Ca/Mg-Verhältnis), die ihre Ursache im Salzgehalt des Wassers bei der Sedimentation haben, werden sie untergliedert in die Typen Seemarsch, Brackmarsch und Flußmarsch.

Nachfolgend sollen die Gesetzmäßigkeiten beim Bodenartenaufbau der Marschböden besprochen werden. Die Korngröße eines Sedimentes hängt in erster Linie ab von der Strömungsgeschwindigkeit des Wassers, aus dem heraus es sich absetzt, und nimmt mit dieser zu oder ab. Seenahe bzw. rinnennahe abgelagerte Sedimente sind daher grobkörniger als seefern oder rinnenfern abgelagerte.

Der zeitliche Ablauf der Sedimentation im Küstengebiet und dadurch bedingt die vertikale Aufeinanderfolge der bodenartlich verschiedenartigen Sedimente bei relativem oder absolutem Meeresspiegelanstieg geschieht nach folgendem Schema:

Anstieg des Meeresspiegels bedingt Erhöhung des Grundwasserstandes im Küstenbereich. Dies führt zur Versumpfung und Torfbildung. Es handelt sich dabei überwiegend um Niedermoortorf, der häufig als Basistorf bezeichnet wird, weil er sich an der Basis der Ablagerungsfolge befindet. Bei weiterem Meeresspiegelanstieg wird das niedrige Küstengebiet überflutet. Bei zuerst geringer Wasserhöhe und Wasserbewegung werden vorwiegend tonige Sedimente abgelagert, zum Teil in den noch weiterwachsenden Niedermoortorf. Es entstehen tonige Torfe, humose Tone und Tone. Mit zunehmender Wasserbewegung kommen schluffige bis sandig-schluffige Sedimente

x) Niedersächs. Landesamt f. Bodenforschg., 3 Hannover, Wiesenstr. 1

zum Absatz. Gleichzeitig nimmt der Salzgehalt des Wassers zu und damit der brackische und schließlich marine Charakter der daraus abgesetzten Sedimente.
Bei Nachlassen oder Beendigung des Meeresspiegelanstiegs läuft die vorstehend angeführte Reihe rückwärts ab:
Mit sinkender Überflutungshöhe und Strömungsgeschwindigkeit werden die Sedimente feinkörniger. Über den sandig-schluffigen werden schluffig-tonige Sedimente abgelagert. Gleichzeitig nimmt die Aussüßung des Wassers zu und mit abnehmendem Salzgehalt wechselt der Charakter der Schichten von marin über brackisch zu fluviatil. Schließlich tritt bei hohem Grundwasserstand und auslaufender Sedimentation in den tieferen Gebieten Torfbildung ein, die bei fehlender Überflutung bis zum Hochmoortorf führen kann.

Einen solchen Ablagerungszuklus nennen wir eine "Folge". Im Idealfall müßte sie bei schematischer Darstellung folgenden Aufbau von unten nach oben zeigen, wobei in Abb.1 Geestsand als Unterlage angenommen wurde:

(Geest) Hn → t Hn → hT → T → uT → tU → U → fs U → u fS → fs U → U →
fluviatil → brackisch → marin →
→ tU → uT → T → hT → t Hn → Hn → Hü → Hh
→ brackisch → fluviatil

Wenn bei einem erneuten Meeresspiegelanstieg das nährstoffreiche Grundwasser in den Hochmoortorf steigt, stirbt das Torfmoos ab und es bildet sich Niedermoortorf über Hochmoortorf, also genau umgekehrt wie im üblichen Torfbildungsprozeß, wo der Niedermoortorf stets unter dem Hochmoortorf liegt.

Die gleiche Sedimentfolge, die sich vertikal im zeitlichen Ablauf bildet, findet sich horizontal auch im räumlichen Nebeneinander (Abb.2):
An der Küste bzw. am Rinnenrand finden wir im Uferwall schluffig-sandige Sedimente, die zum Hinterland hin in schluffig-tonige übergehen, während es in den see- und rinnenfernsten Gebieten zur Torfbildung (Niedermoortorf) kommt, den sogenannten Marschrandmooren. Da auch der Salzgehalt des Wassers von der Küste zum Geestrand hin abnimmt, besteht ein gewisser Zusammenhang zwischen dem Charakter der Sedimente und ihrer Korngröße. Im allgemeinen sind wegen der größeren Wasserbewegung bei der Ablagerung marine Schichten tonärmer, die in ruhigem Wasser abgesetzten brackischen

(und meist auch die fluviatilen) Schichten tonreicher. Ähnlich verhält es sich mit dem Kalkgehalt. Marine Schichten werden normalerweise kalkreich, brackische Schichten kalkarm abgelagert. Da wachsendes Hochmoor überhaupt kein Salzwasser verträgt, zeigt sein Vorkommen das Fehlen jeglicher Überflutung an. Das Hochmoor auf Abb.2 oben links muß also bereits vor dem Meeresspiegelanstieg auf diese Höhe gewachsen sein und wird nun teilweise erodiert.

Die gestrichelte Linie in Abb. 2 deutet die Sedimentoberfläche zu einem früheren Zeitpunkt der Sedimentation an. Sie zeigt, daß die Zonen bodenartlich verschiedenartiger Ablagerungen mit zunehmender Auflandung landeinwärts wandern und flächenmäßig ein größeres Gebiet einnehmen können.

Selten sind alle Schichten einer Folge gleich mächtig ausgebildet, da die Sedimentation selten über einen längeren Zeitraum hinweg gleichmäßig verläuft. Es treten vielmehr meist Veränderungen bei den die Sedimentation bestimmenden Faktoren ein. So kann sich das Tempo des Meeresspiegelanstiegs ändern, die Menge des vom Wasser mitgeführten Materials, der Verlauf der Küstenlinie oder der für den Antransport des Materials maßgebenden Rinnen. Manche Schichten sind daher überhaupt nicht zur Ausbildung gekommen, andere wurden wieder erodiert, besonders in Seenähe oder Rinnennähe. Letzteres ist vor allem dann zu vermuten, wenn im Profil an Stelle allmählicher Übergänge scharfe Grenzen zwischen einzelnen Schichten auftreten.

Mit welcher Bodenart ein Marschprofil nach oben hin abschließt, hängt ganz von den örtlichen Verhältnissen ab, da die Sedimentation zu jedem beliebigen Zeitpunkt unterbrochen worden sein kann, sei es durch Rinnenverlagerung, Deichbau oder andere Ursachen. Im Extrem kann es Wattsand sein wie im kürzlich eingedeichten Polder Bongsiel an der Westküste Schleswig-Holsteins.

Das oben gezeigte Idealprofil einer Folge wird also bei der Kartierarbeit im Gelände nur sehr selten gefunden werden. Vielmehr tritt eine Vielzahl von Änderungen durch wechselnde Mächtigkeiten bzw. Ausfall einzelner Schichten auf. Außerdem ist selten eine Folge allein abgelagert, sondern es liegen Schichten mehrerer Folgen übereinander, so daß eine große Mannigfaltigkeit von Profilen entsteht. Bei genauerer Untersuchung lassen sie sich aber alle auf das obige Schema zurückführen.

Die Grenze zwischen zwei Folgen wird über diejenige Schicht gelegt, die die see- bzw. rinnenfernste Bildung darstellt, im Extrem also der Hochmoortorf. Die Abgrenzung zweier Folgen ist am einfachsten, wenn noch Vegetationsreste oder Bodenbildungen erhalten sind, kann aber schwierig werden, wenn diese fehlen, wie es in see- und rinnennahen Gebieten oft der Fall ist. Wir können die Möglichkeiten zur Abgrenzung zweier Folgen nach der Art der Grenzschicht gliedern:

1. Vegetationsreste und Bodenbildung vorhanden

   a) Hochmoortorf (Abb.1)

   b) Niedermoortorf (Abb.3, Nr.1). Entweder war noch kein Hochmoortorf gebildet, als der neue Meeresspiegelanstieg begann, oder er wurde bei der Überflutung erodiert. Hochmoortorf schwimmt im Wasser auf und kann dabei leicht von der Unterlage losgerissen und verdriftet werden, wie noch heute im Sehestedter Außendeichsmoor am Ostrand des Jadebusens zu sehen ist.

   c) humoser Ton mit Pflanzenresten (Abb.3, Nr.2). Er bildet sich häufig aus dem Schilfgürtel am Ufer.

   d) Dwöge (Abb.3, Nr.3). Es sind dies der ehemals mehr oder weniger humose A-Horizont (Humusdwog) bzw. der an Eisenflecken und -konkretionen reiche G-Horizont (Eisendwog), also die tonreichere Krume bzw. der Unterboden eines alten feuchten Graslandes. Diese Horizonte sind unter dem Einfluß der subfossilen Bodenbildung und der jüngeren Schlicküberdeckung stets verdichtet. Über die Dwöge wurde auf der Jahrestagung der DBG 1961 in Wien bereits berichtet, weshalb hier auf nähere Ausführungen verzichtet wird.

2. Vegetationsreste und Bodenbildungen fehlen

   a) Sedimentwechsel (Abb.3, Nr.4-6). Tonige Schichten zwischen schluffig-sandigen sind meist als Grenzschichten anzusehen. Ist der Übergang zu den überlagernden grobkörnigeren Schichten allmählich (Abb. 3, Nr.4), so dürfte keine Erosien stattgefunden haben. Das Fehlen von Bodenbildung und Vegetation dürfte durch den kurzen Zeitraum bis zum Beginn der neuen Folge bedingt sein. Liegen dagegen die grobkörnigeren Sedimente mit scharfer Grenze über den tonigen Schichten (Abb.3, Nr. 5,6), dann ist Erosion der obersten Schichten (Torfe, Dwöge) der unteren Folge wahrscheinlich. Oft läßt

sich aus einem einzelnen Profil kein sicherer Schluß ziehen, aber aus dem Vergleich mit Nachbarprofilen kann bei der Kartierung meist eine sichere Entscheidung getroffen werden.

b) kein Sedimentwechsel. Im Profil liegen mächtige Schichten ähnlicher Bodenart, meist schluffig-sandig, übereinander, die nach verschiedenen Anzeichen zu mehr als einer Folge gehören müßten. Hier kann unter Umständen der Kalkgehalt oder der Charakter der Schichten helfen. Kalkreiche über kalkarmen bzw. kalkfreien Schichten deuten ebenso auf den Beginn einer neuen Folge wie marine über brackischen oder brackische über fluviatilen Schichten.

Die bisherigen Ausführungen gelten für Küsten unter natürlichen Bedingungen. Durch den Deichbau und die Landgewinnung treten Änderungen dieser Verhältnisse ein, die sich besonders auf Richtung und Stärke der Wasserbewegung auswirken. Die vorstehend aufgezeigten Gesetzmäßigkeiten liegen aber auch hier zu Grunde.

Auf einem auflandenden Deichvorland (Heller, Außengroden) herrscht am Deichfuß ruhiges Wasser, es sedimentieren hier daher Tone, die zu schweren Böden (absolutes Grünland) führen. Je weiter vom Deich weg, desto stärker die Wasserbewegung und desto tonärmer das Sediment. Es bilden sich leichtere Böden (Ackermarsch). Jeder Groden (Polder, Koog) gliedert sich daher in Zonen parallel zum Deich, die seewärts zu leichtere (tonärmere) Böden besitzen. (Abb.4). Je weiter der Heller ins Watt hineinwächst, desto größer wird die Entfernung zur See und desto tonreicheres Material kommt im nun ruhigeren Wasser zur Sedimentation. Die Krume des Hellers wird also zunehmend tonreicher, was bei einem Vergleich der auf Abb. 4 durch die gestrichelten Linien dargestellten früheren mit der heutigen Oberfläche zu erkennen ist. Je später die Bedeichung des Hellers erfolgt und je höher er auflandet, desto breiter wird der für den Ackerbau zu schwere (tonreiche) Streifen vor dem alten Deich. Durch entsprechende Wahl des Bedeichungszeitpunktes kann also der Tongehalt der Krume im neuen Groden beeinflußt werden.

Die natürliche Sedimentation wird stark verändert durch den Bau von Lahnungen zum Schlickfang. Durch das hier nicht näher zu beschreibende "Grüppeln" bei der Landgewinnung wird schließlich die natürliche horizontale Schichtung der Sedimente völlig zerstört, ähnlich wie es binnendeichs

durch das "Wühlen" (Kuhlen, Blausandmelioration) geschieht. Zum Abschluß sei noch erwähnt, daß durch den anhaltenden Meeresspiegelanstieg die jüngeren Groden höher aufgelandet sind als die älteren, deren nachträgliche Auflandung durch die Deiche verhindert wurde.

Literatur: Beihefte zur geologisch-bodenkundlichen Karte der Niedersächsischen Marschen 1 : 5000, herausgegeben vom Niedersächsischen Landesamt für Bodenforschung, Hannover.

Abb. 1

Normalschichtung der Folgen einer Ablagerungsperiode (schematisch)

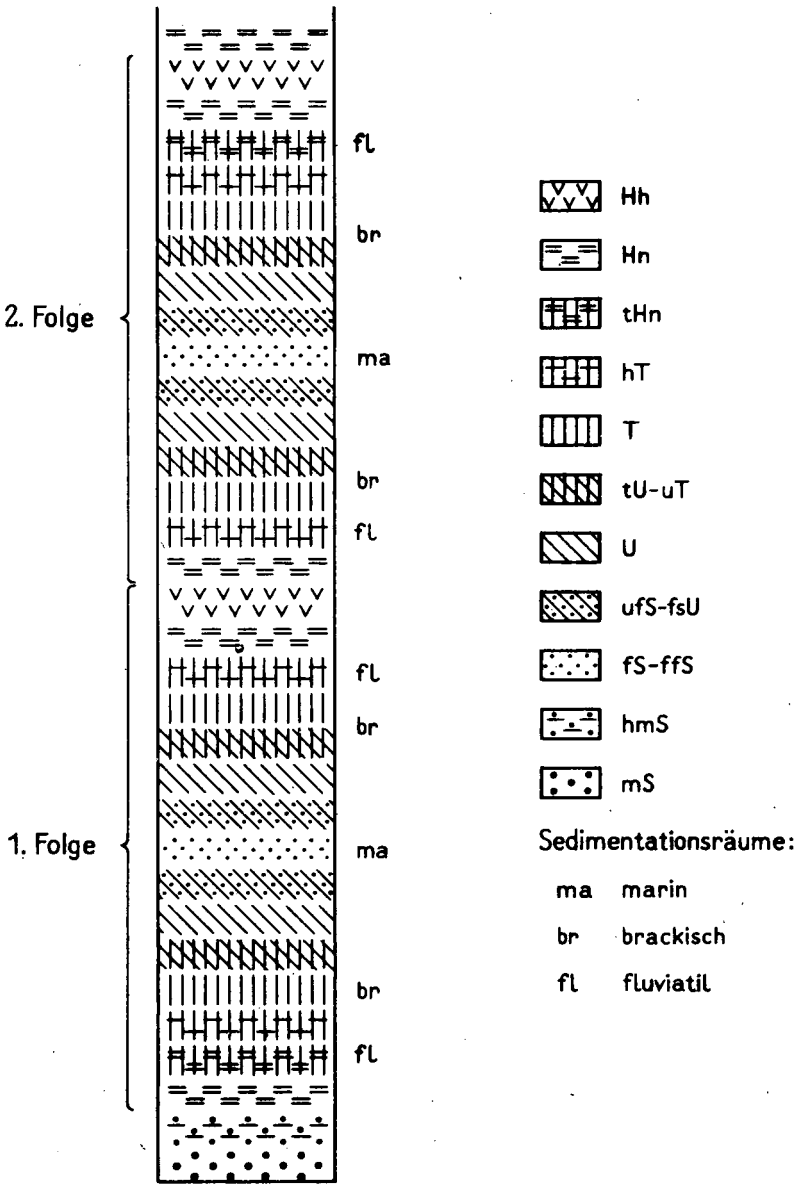


Abb. 2

schematischer Schnitt durch Marsch, Randmoor und Geestuntergrund

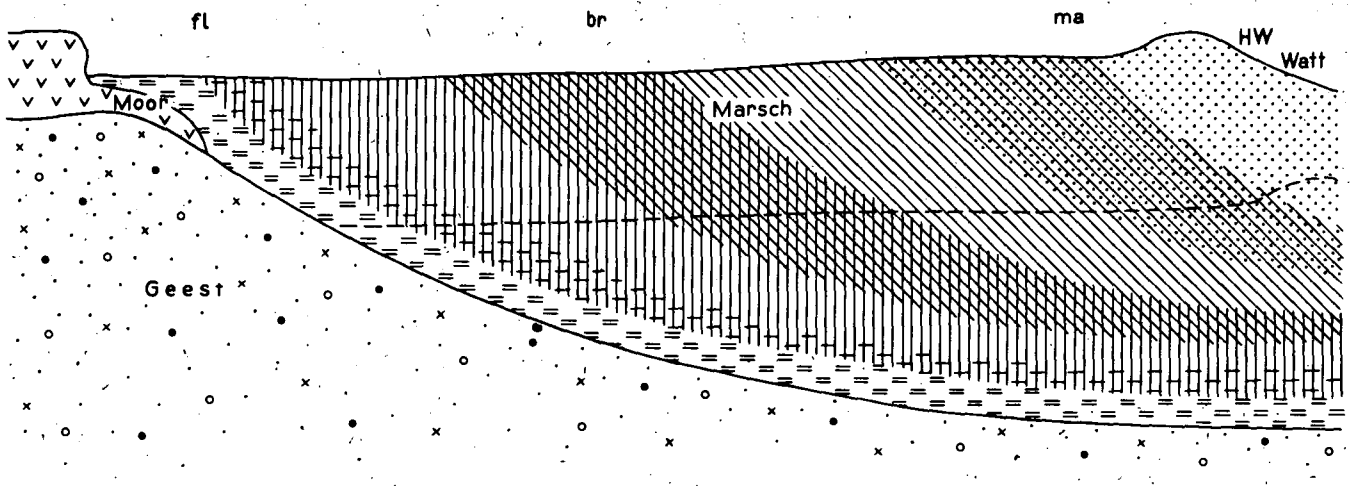


Abb. 3

Abgrenzung der Folgen einer Ablagerungsperiode durch

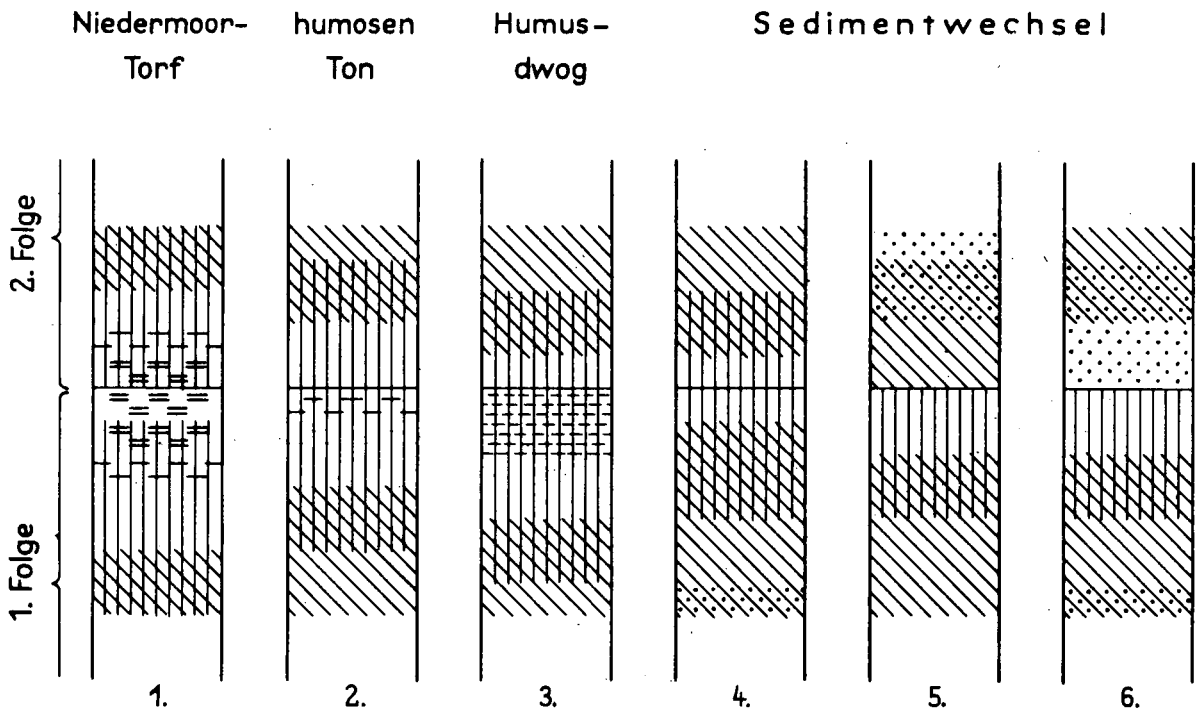
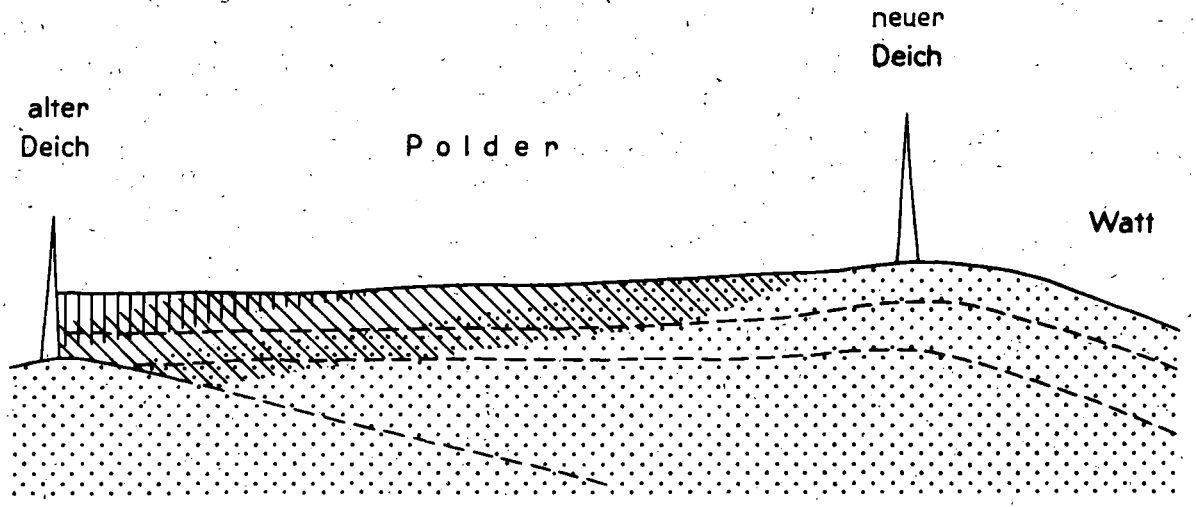


Abb. 4

Bodenartenverteilung im Polder (schematisch)



Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft Bd. 1 S. 41-51, 1963

DIE ENTSTEHUNG UND ENTWICKLUNG DER UMGESPITTETEN BÖDEN IM KÜSTENMOOR DES JADEBUSENS

von R. Fleischmann u. H. Voigt [x)]

Einleitung

Unter Umspitten versteht man das Aufbringen von geeignetem Untergrundmaterial, meist kalkhaltigem Klei, mit dem Spaten auf vorher abgetorfte Flächen.

Es sei eingangs erwähnt, daß sich u.a. auch SCHÜTTE (1939) und KÜNNEMANN (1960) mit dieser Frage beschäftigt haben, ohne jedoch näher auf bodenkundliche Aspekte eingegangen zu sein.

Das Beobachtungsmaterial wurde bei den bodenkundlich-geologischen Kartierarbeiten des Niedersächs. Landesamtes für Bodenforschung, Hannover, gesammelt und untersucht.

Geographische Lage und geologische Situation des Gebietes

Wie die Übersichtskarte (s.Abb.1) zeigt, liegen die umgespitteten Böden vorwiegend im Gebiet des vorgeschichtlichen Jadebusens (MÜLLER 1962), der bereits Ende des Atlantikums entstand und seine größte Ausdehnung nach Süden in der ersten Hälfte des Subboreals erfuhr. Es wurden dort kalkreiche brackisch-marine Sedimente abgelagert. Den Abschluß der Verlandung bildeten tonreiche, kalkarme und auch kalkfreie brackische Ablagerungen. Die Gesamtmächtigkeit der vorgeschichtlichen Jadebusen-Sedimente beträgt etwa 8 - 10 m. In den Uferregionen und im Hinterland kam es während dieser Periode nur zur Ablagerung kalkfreier brackischer und brackisch-fluviatiler Tone.

x) Nieders.Landesamt f. Bodenforschung, Hannover, Wiesenstr. 1

Um 900 v. Chr. setzte von den Ufern her die Bildung eines - oft nur einige dm mächtigen - Schilf- und Seggentorfes ein, der in Bruchwaldtorf überging. Etwa 700 v. Chr. beginnt die Bildung von Hochmoortorf, der in der Folgezeit eine Mächtigkeit bis 4 m erreicht. Er läßt sich durch einen Grenzhorizont in Schwarz- und Weißtorf untergliedern. Diese Torfe überdeckten das gesamte rückwärtige Gebiet des verlandeten vorgeschichtlichen Jadebusens.

Die Arbeitstechnik des Umspittens

Die Besiedlung des Gebietes begann im 12. Jahrhundert. Jeder Siedler erhielt einen schmalen Landstreifen, der jeweils einen Anteil am Moor- wie am Marschland enthielt. Deren Nachkommen haben im Laufe der Jahrhunderte seit dem Mittelalter die Moorböden durch das unten beschriebene Umspitten stark verändert. Die angewandte Arbeitsmethode könnte sich beim Ausheben von Entwässerungs- und Grenzgräben entwickelt haben. Hierbei kam schluff- und kalkreiches Material der Jadebusensedimente auf die Oberfläche. Die Siedler dürften beobachtet haben, daß dieses Material für die Vegetation viel geeigneter schien als die Resttorfe der nur abgetorften Flächen. Diese Erkenntnis sowie der Wunsch, Brennstoff und ertragsfähige, trittfeste Böden zu gewinnen, haben zur Entwicklung einer sinnreicheren Meliorationsmaßnahme geführt, die Umspitten oder auch Kleischießen genannt wird.

Beim Umspitten (s. Abb. 2) wird von einem etwa 5 m breiten Querstreifen der Weißtorf in die vom letzten Jahr offen gebliebenen Grube gestürzt. Dann folgt das Abtorfen des Schwarztorfes, der als Brenntorf verwendet wird. Die Tiefe des Abtorfens richtet sich nach der Höhe des Grundwasserstandes.

Parallel zu der alten Grube wird in einem Abstand von 2 - 2,5 m eine neue Grube zur Kleinentnahme angelegt. Ihre Breite beträgt 2,5 - 3 m und die Tiefe mindestens 3 Spatenstiche, etwa 90 cm. Die Seitenwände sind schräg oder treppenförmig, damit sie nicht einstürzen. Die oberste 20 - 30 cm meist entkalkte Kleischicht kommt auf den eingebunkten Weißtorf, der noch locker liegt und sich später stark setzt. Der 2. und 3. Spatenstich werden auf den ganzen Streifen so verteilt, daß das Material des untersten Stiches die Oberfläche bildet.

Pro ha wird etwa 2 000 - 3 000 m^3 Klei ausgehoben. Das ergibt einen Auftrag von 20 - 30 cm. Die so entstandenen kalkreichen Oberböden sind sehr fruchtbar, da sie wasserdurchlässig, nährstoffreich und als Weide einigermaßen trittfest sind. Wird jedoch kalkfreies Untergrundmaterial, z.B. im Hinterland des prähistorischen Jadebusens, an die Oberfläche gebracht, so ist die erzielbare Bodenverbesserung nur gering.

Nach der Setzung entsteht eine wellenförmige Oberfläche, die ein typisches Kennzeichen für umgespittete Böden ist. Die stehengebliebene Kleibank bildet infolge schwacher Setzung eine Erhebung, während über der Grube wegen der stärkeren Setzung des hier eingebrachten Weißtorfes eine Senke entsteht. Auch das Profil wechselt dementsprechend. Es zeigt im Bereich der Kleibank geringmächtige (< 8 dm) und im Bereich der Torfgrube > 8 dm mächtige Torfschichten unter der aufgebrachten Kleischicht.

Benennung und Eigenschaften der durch das Umsplitten entstandenen Böden

Böden, bei denen weniger als 4 dm mächtige Kleischichten über Torf liegen, werden Moormarsch genannt. Im Regelfalle entstehen derartige Böden durch natürliche Überschlickung von Mooren mit brackischen bis fluviatilen Sedimenten infolge des postglazialen Meeresspiegelanstieges (s. W. MÜLLER 1962) Je nach Mächtigkeit der überschlickten Torfe werden geringmächtige (< 8 dm Torf) und mächtige (< 8 dm Torf) Varietäten der Moormarsch unterschieden. Bei der durch das Spitten entstandenen Moormarsch wechselt nun die Torfmächtigkeit entsprechend den beschriebenen Arbeitsvorgängen. Es wird daher vorgeschlagen, die durch das Umspitten entstandenen anthropogenen Böden gleichen Profilaufbaues Spittmoormarsch zu nennen, wobei kalkhaltige und kalkfreie Subvarietäten auftreten.

Die Unterscheidungsmerkmale zwischen gewachsener Moormarsch und künstlich geschaffener Moormarsch liegen nicht nur in der Entstehung, sondern auch in den physikalischen und chemischen Eigenschaften. Durch den Eingriff des Menschen ist zunächst die in allen Marschböden m.o.w. ausgeprägte Feinschichtung beseitigt worden, die durch die aquatische Sedimentation im Gezeitenbereich des Meeres bedingt ist (s. W. MÜLLER 1959 a und b).

Im Labor wurden etwa 50 Profile von Spittmoormarschen untersucht und mit 5 Profilen der durch natürliche Überschlickung entstandenen Moormarsch verglichen. Hierzu wurden Mittelwertsbildungen an Proben jener Horizonte vorgenommen, die einander entsprechen.

Die Tongehalte der Kalk-Spittmoormarsch liegen im Oberboden bei 38 %, somit etwa 10 % niedriger als jene der kalkfreien Spitt- und gewachsenen Moormarsch. Die Erklärung hierfür ist, daß bei der Kalk-Spittmoormarsch vorwiegend tonärmeres Untergrundmaterial aus dem vorgeschichtlichen Jadebusen an die Oberfläche gebracht wurde.

Abbildung 3 zeigt die pH-Werte der drei verschiedenen Moormarschen, der gewachsenen und der beiden künstlich entstandenen. Die gewachsenen Moormarsch ist stark sauer, die kalkfreie Spittmoormarsch ist mäßig sauer und die kalkhaltige Spittmoormarsch schwach sauer bis neutral.

Freier Kalk im Oberboden gilt als große Besonderheit bei Moormarschen und wurde von uns nur bei der Kalk-Spittmoormarsch angetroffen.

In sehr guter Abhängigkeit von pH-Wert und Kalkgehalt liegen die V-Werte (s. Abb. 4). Die höchsten Werte zeigt die kalkhaltige Spittmoormarsch, die niedrigsten die gewachsene Moormarsch.

Im Gehalt an organischer Substanz unterscheiden sich die Spittmoormarschen nur wenig. Dagegen sind die Gehalte bei der gewachsenen Moormarsch wesentlich höher. Dies liegt vornehmlich an der allgemein tiefen Lage dieser Böden, die eine gute Entwässerung erschwert, ein saures Milieu schafft und den mikrobiellen Abbau vermindert. Hier soll noch erwähnt werden, daß die Durchlässigkeit des schilfdurchwachsenen Unterbodens ausgezeichnet ist.

Der Gehalt an sorbierten Ca- und Mg-Ionen wird von der kalkhaltigen und kalkfreien Spittmoormarsch auf der Abb. 5 dargestellt. Wie die Pfeile andeuten, nimmt die Mg-Sorption vom Unter- zum Oberboden ab, die Ca-Sorption hingegen zu. Daraus folgt, daß sich das Ca/Mg-Verhältnis in Richtung zum Oberboden vergrößert, bei der kalkhaltigen Spittmoormarsch von 7,5 auf 9,8, bei der kalkfreien Spittmoormarsch von 2,3 auf 3,4.

Aus verschiedenen Arbeiten von W. MÜLLER (1954, 1955, 1957, 1959a, 1959b) geht hervor, welche Bedeutung das Ca/Mg-Verhältnis für Einstufen und Ei-

genschaften von Marschen hat. Bei höheren Anteilen sorbierter Mg-Ionen treten ungünstige physikalische Eingenschaften auf.

Die beträchtlichen Unterschiede im Ca/Mg-Verhältnis sind auf das verschiedene Ausgangsmaterial und die hierdurch vorgezeichneten Umtauschprozesse zurückzuführen. Die niedrigeren Ca/Mg-Verhältniswerte bei den kalkfreien Spittmoormarschen werden auf die höhere Mg-Sorption bei brackischem Ablagerungsmilieu und gleichzeitiger Kalkarmut, die höheren Werte der Kalk-Spittmoormarsch auf die kalkreichen marinen Sedimente des Jadebusens zurückgeführt.

Zusammenfassung

Es sind die Durchführung des Umspittens und die dadurch entstandenen chemischen und physikalischen Eigenschaften der Spittböden erläutert und mit denen der gewachsenen Moormarsch verglichen worden. Vorgeschlagen wird, diese anthropogene Moormarsch als Spittmoormarsch zu bezeichnen, die weiter in kalkfreie und kalkhaltige Spittmoormarsch zu untergliedern wäre.

Literaturverzeichnis

KÜNNEMANN, Chr.: Meer und Mensch am Jadebusen. - Oldenburg 1960.

MÜCKENHAUSEN, E.: Entstehung, Eigenschaften und Systematik der Böden der Bundesrepublik Deutschland. - Frankfurt a.M. 1962.

MÜLLER, W.: Untersuchungen über die Bildung und Eigenschaften von Knickschichten in Marschböden. - Diss. Gießen 1954.

" Verdichtungserscheinungen in Marschböden. - Z.Pflanzenern., Düng., Bodenkde. 71, 225, 1955.

" Grundsätzliche Betrachtungen bei der Ansprache der Marschböden. - Praxis u. Forschung 9, H. 2, 17, 1957.

" Besonderheiten der Marschböden durch den Einfluß des Meeres während ihrer Entstehung. - Z.Pflanzenern., Düng., Bodenkde. 84, 289, 1959 (1959a)

" Grundsätzliche Betrachtungen zur systematischen Gliederung der Marschböden. - Geol.Jb. 76, 11, 1959 (1959b).

" Der Ablauf der holozänen Meerestransgression an der südlichen Nordseeküste und Folgerungen in bezug auf eine geochronologische Holozängliederung. - Eiszeitalter u. Gegenwart 13, 197, 1962.

SCHÜTTE, H.: Sinkendes Land an der Nordsee? Schriften d. Deutschen Naturkundevereins, Öhringen 1939.

Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung:

Geologisch-bodenkundliche Karten 1 : 5 000.

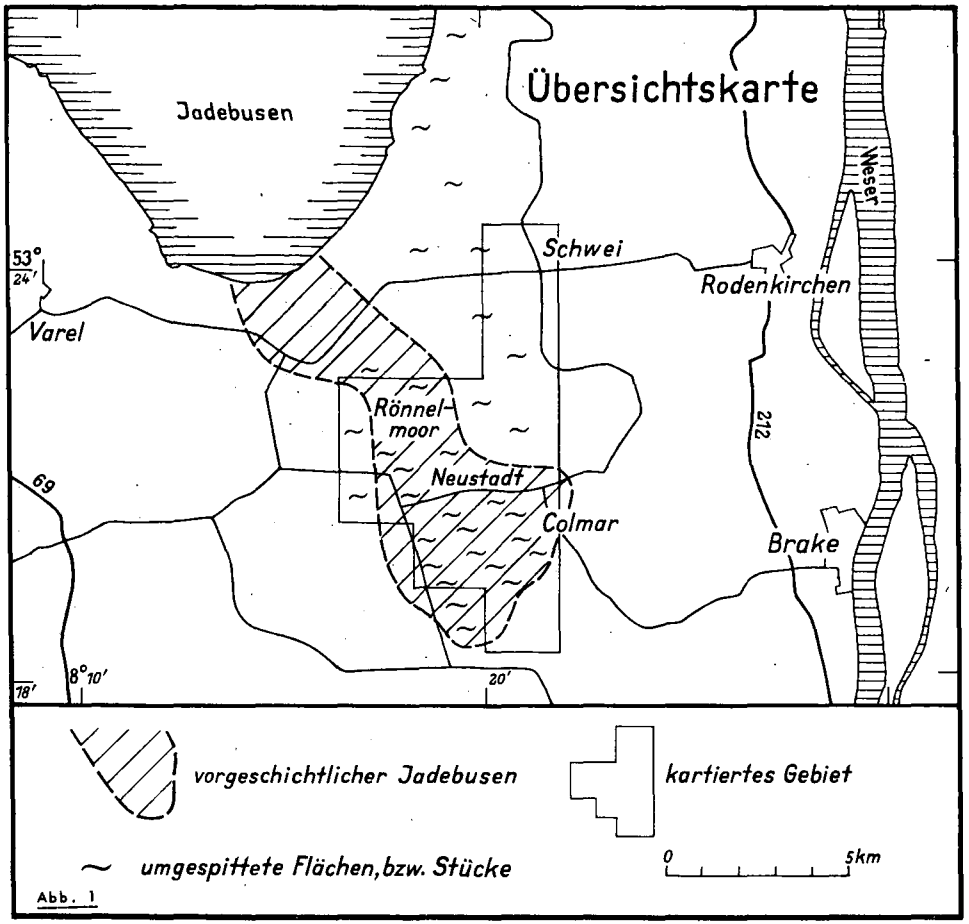
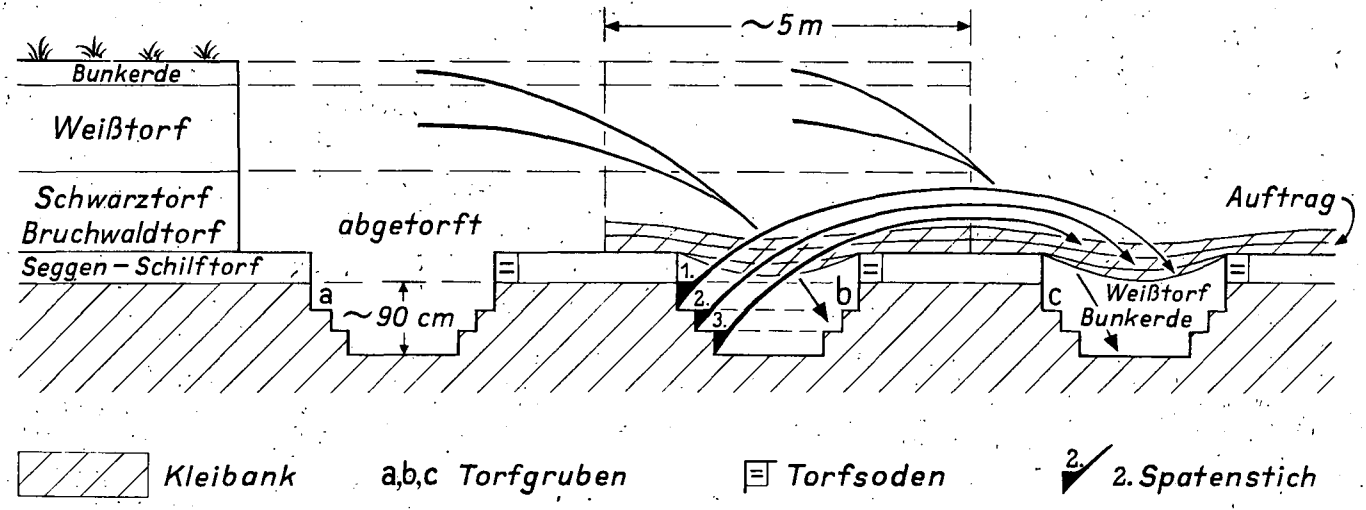

Übersichtskarte
Jadebusen
Jade
Schwei
Rodenkirchen
53° 24'
Varel
Rönnel-
moor
Neustadt
Colmar
Brake
212
69
8° 10'
18'
20'
vorgeschichtlicher Jadebusen
kartiertes Gebiet
umgespittete Flächen, bzw. Stücke
0
5km
Abb. 1

Abb. 2 Schematische Darstellung des Umspittens (Kleischießen)



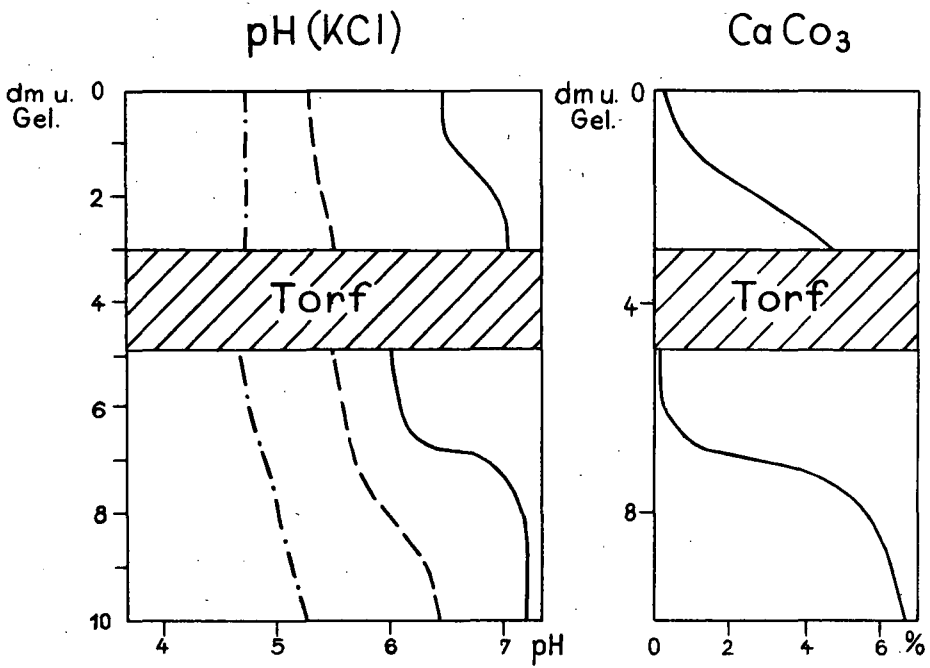

pH (KCl)
Ca Co3
dm u. Gel.
0
2
4
6
8
10
Torf
4
5
6
7
pH
dm u. Gel.
0
4
8
Torf
0
2
4
6
%
gewachsene Moormarsch
kalkfreie Spittmoormarsch
Kalk-Spittmoormarsch

Abb. 3

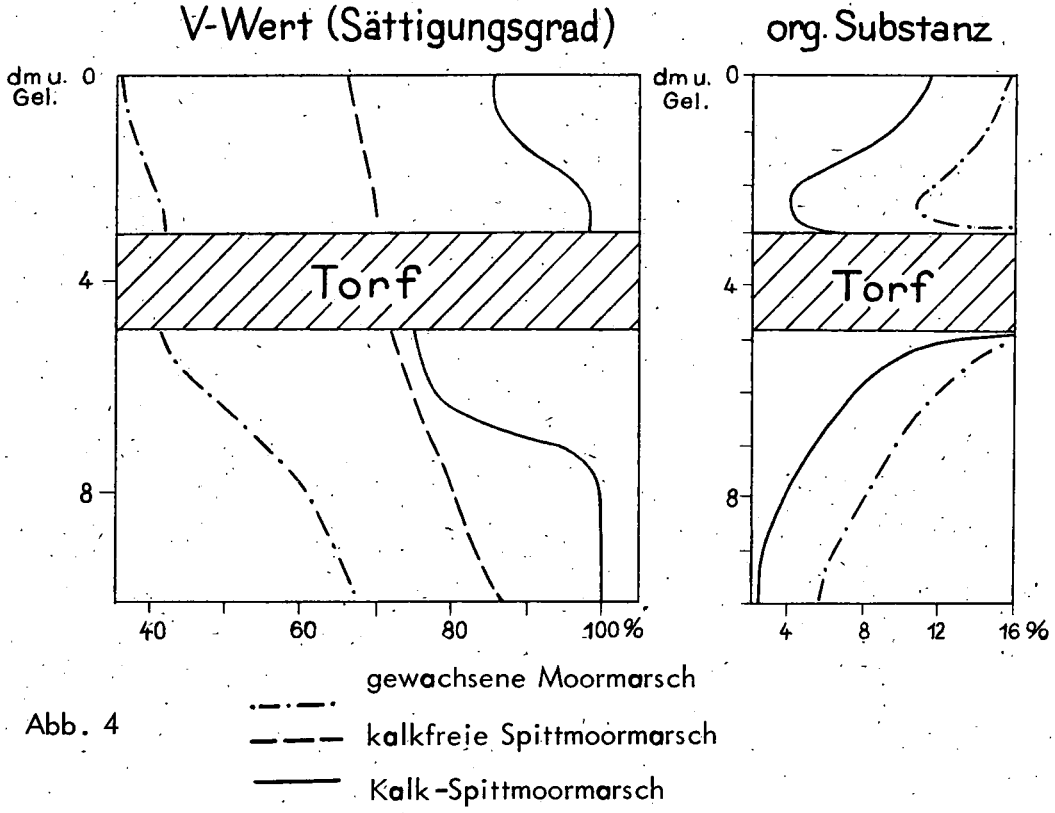

V-Wert (Sättigungsgrad)
org. Substanz
dm u. Gel.
0
4
8
Torf
40
60
80
100 %
4
8
12
16 %
gewachsene Moormarsch
kalkfreie Spittmoormarsch
Kalk-Spittmoormarsch

Abb. 4

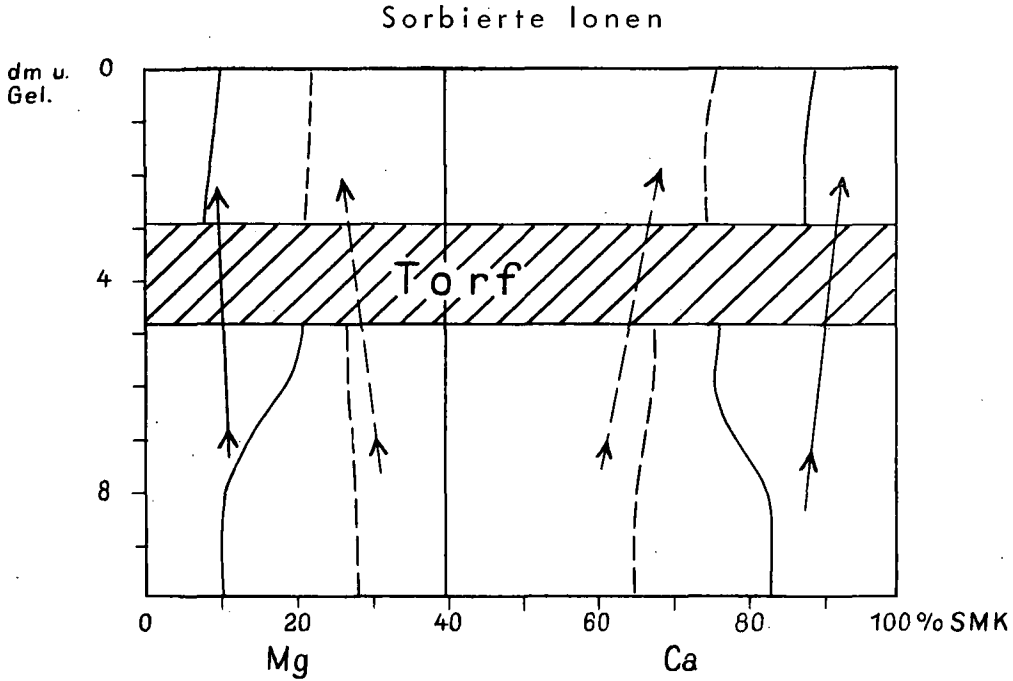


Abb. 5

— — — kalkfreie Spittmoormarsch

——— kalkhaltige Spittmoormarsch

Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft Bd. 1 S. 53-62, 1963

TONGEHALTE, KATIONENBELEGUNG UND STRUKTURBILDUNG IN DEN KNICKMARSCHBÖDEN SCHLWESWIG-HOLSTEINS

von H.E. Stremme[x)]

Vom Geologischen Landesamt Schleswig-Holstein werden in der Marsch seit 1957 umfangreiche Bodenkartierungen mit dem Maßstab 1 : 5 000 vorgenommen. Mit der Kartierung sind Probenahmen und Laboruntersuchungen verbunden (über 2.000 Proben bisher untersucht). Zur Bestimmung gelangen jeweils Korngröße, Kationenbelegung, org. Substanz, Kalkgehalt sowie verschiedene weitere allgemein übliche chemische Werte, neuerdings auch andere physikalische Werte wie die Durchlässigkeit.

In diesem Referat werden die Ergebnisse der Laboruntersuchungen besprochen. Eine Kennzeichnung der Knickschichten verschiedener Gebiete soll erfolgen. Dabei wird zu zeigen sein, wie weit echter Knick vorliegt und Übereinstimmung besteht zwischen der bodenmorphologischen Geländeansprache und den Ergebnissen der Laboruntersuchungen.

1. Vorkommen und Entstehung der Knickmarschböden

Brackmarsch und Knick als Brackwassersediment (W. MÜLLER 1 u. 2) sind innerhalb der Marschen Schleswig-Holsteins weit verbreitet. An den heutigen Küsten ist jedoch Brackwasser kaum zu finden. Vor unseren Deichen sind wir Zeugen fast nur noch mariner Sedimentation. Ganz andere Verhältnisse bestanden vor dem Deichbau. Da überspülte die Flut mit geringeren Wassergeschwindigkeiten weite Niederungen und Sümpfe, die ausgedehnte Brackwassergebiete bildeten. In diesen Räumen entstanden die Brackmarschen und der Knick. Der Charakter der Sedimentationsräume und damit der Sedimente des Mittelalters, auch der Zeit nach der großen Mandränke 1362, entsprach im wesentlichen dem der Zeit vor Christi Geburt.

x) Geolog. Landesamt Schlesw.-Holst., Kiel, Mecklenburger Str. 22/24

Am Ende des 16. Jahrhunderts wurde durch den starken Ausbau der Deiche der Umschlag von überwiegend brackischer zu überwiegend mariner Sedimentation vollzogen. Schwere tonige Absätze mit engem Ca/Mg-Verhältnis wurden abgelöst von den weniger schluffreichen und z.T. feinsandigen marinen Sedimenten mit weitem Ca/Mg-Verhältnis.

Die an dieser Stelle zu besprechenden Knickschichten sind vorzugsweise mittelalterliche Sedimente, nur untergeordnet solche aus der Zeit vor Christi Geburt.

Eine grobe Gliederung der Marschböden gibt die Bodenkarte des Landes Schleswig-Holstein (H. E. STREMME 3). Unterschieden sind darin die lockeren Marschböden oder Seemarschen und die Marschen mit verbreitetem Knick. Die alten Brackwasserzonen sind die Gebiete um den Gottekoogsee, Langenhorner und Ockholmer Koog mit Lecker und Soholmer Au, Hattstedter Marsch sowie Treene- und Eidermarsch und die Elbmarsch.

Größtes Verbreitungsgebiet der Seemarsch ist Dithmarschen. In diesem Raum wurden die in den heutigen Böden verbreiteten Seemarschbildungen (E. DITTMER 4) z. T. lange vor Christi Geburt abgelagert. Bei den anderen Seemarschen im nördlichen Eiderstedt, auf Nordstrand oder im Sönke-Nissenkoog handelt es sich dagegen durchweg um ganz junge Sedimente.

Im Folgenden werden die Untersuchungsergebnisse von jeweils über 40 Proben für die Knickbrackmarschen von Föhr, vom Langenhorner Koog, vom Treenegebiet sowie hinweisend von der Hattstedter- und der Südermarsch aufgezeigt.

Als typisches Beispiel für die Knickmarschböden kann ein Profil aus dem Ockholmer Koog (Gebiet Langenhorn) dienen. Der A-Horizont ist dort ganz geringmächtig, teilweise nur um 10 cm. Darunter folgt blaugrauer schwerer Ton mit groben Prismen oder groben Vielecken als Strukturkörpern und z.T. ganz dichter Lagerung. Im Unterboden ist eine schwarze Schnur sichtbar. Spät- und vormittelalterliche Sedimente werden von ihr getrennt(5). Der Charakter der Sedimente ist gleichartig. Das Grundwasser stand am 2. Mai 1958 bei 35 cm unter Flur.

2. Tongehalte

Von den Ergebnissen der Laboruntersuchungen werden zuerst die der Korngrößenbestimmungen besprochen.

Abb.1 Die Abbildung 1 zeigt die Korngrößenzusammensetzung der Knickhorizonte. Es gilt für diese und die weiteren Darstellungen, daß von jedem Profil mit Knick nur der tonreichste Knickhorizont in der Auswertung verwendet wurde. Die Proben liegen alle an der oberen Seite des Dreiecks. Sie bestehen also nur aus Schluff und Ton. Die meisten Proben von der Insel Föhr haben Tongehalte zwischen 45 und 60 %.

Bei Langenhorn haben die Proben vorwiegend Tongehalt zwischen 55 und 70 %, also wesentlich höheren Feinanteil als auf Föhr. Ursache dafür dürfte die größere Entfernung vom offenen bewegten Meer sein.

Die Untersuchungsergebnisse für das Treenegebiet lassen Schwankungen der Tongehalte von 35 bis zu 55 % erkennen. Im Treene-Gebiet sind die Tongehalte vorwiegend geringer als im Norden. Einige Vergleichswerte aus dem Raum Husum zeigen etwa gleiche Tonanteile wie die Treenemarsch.

3. Ca/Mg-Verhältnisse

Von der Kationenbelegung werden hier die für die Strukturbildung bezeichnendsten Kennzahlen behandelt, das Ca/Mg-Verhältnis und die Na-Gehalte in % der Metallkationensumme.

Abb.2 Abbildung 2 enthält eine Darstellung der Ca/Mg-Werte. Es sind die gleichen Proben herangezogen wie für die Darstellung der Tongehalte. Die prozentuale Verbreitung der einzelnen Werte wurde ermittelt. Von links nach rechts sind die Ca/Mg-Werte aufgezeichnet. Die Sedimentationsbereiche sind hervorgehoben als Knick, knickig, brackisch und marin oder fluviatil. Die anteilmäßige Verbreitung der einzelnen Werte ist auf der Ordinate in % angegeben. Die Ca/Mg-Werte von weniger als 0,5 haben 70 % aller von Föhr untersuchten Proben. Ungewöhnlich enge Ca/Mg-Verhältnisse liegen auf der Insel vor. Im Bereich des Knickes liegen noch weitere 15 %, nur ein geringer Anteil gehört in den knickigen Bereich.

Im Raum Langenhorn gehören 45 % der Ca/Mg-Werte zum Knick, 40 zum knickigen sowie 12 zum brackischen Bereich. - Es ist bemerkenswert, daß die analytisch gewonnenen Zahlen fast aller Proben innerhalb der von Werner MÜLLER vertretenen Grenzwerte liegen. Die wenigen außerhalb liegenden Zahlen sind auf besondere Ursachen wie sehr hohe Humusgehalte zurückzuführen. Für die im Gelände als dicht und als Knick angesprochenen Horizonte bringen die Analysenergebnisse eine volle Bestätigung. Der höhere Anteil an Calzium in Langenhorn kann vom Einfluß der Geestwässer wie der Soholmer Au herrühren. Die Proben der Husumer Marsch besitzen nach dem Ca/Mg-Verhältnis zu 75 % Knickcharakter oder sind als knickig anzusprechen. Im Vergleich zu Föhr und Langenhorn kann von mittleren Werten gesprochen werden. Für das Treenegebiet weisen die Analysen als Knick aus nur etwa 15 % der Proben, als knickig weitere fast 60 % und nicht ganz 20 % als brackisch. Auch bei dieser Nebeneinanderstellung sind landeinwärts wesentlich höhere Calziumgehalte erkennbar. Bei der Bodenansprache im Gelände wurden im Treeneraum tatsächlich nur Verdichtungen mäßigen Ausmaßes festgestellt.

4. Na-Ionen

Der Anteil der Na-Ionen an der Summe der Metallkationen ist in der Abbildung 3 ausgewiesen. Als schwach gilt der Einfluß auf die Strukturbildung nach W. MÜLLER bei weniger als 5 % Na-Ionen. Bei einem Anteil von mehr als 7,5 % ist starker Einfluß zu erwarten. Unter 7,5 bleiben auf Föhr nur 47 % der Proben. Bei etwa der Hälfte aller Knickhorizonte werden die Strukturen also zusätzlich durch hohe Na-Gehalte verschlechtert. 45 % aller Knickhorizonte weisen sogar über 10 % Na auf, mehrfach wurden mehr als 20 % nachgewiesen. Das Na spielt auf Föhr also eine bedeutende Rolle als ungünstiger Faktor der Strukturbildung. Günstiger sind die Verhältnisse in den Langenhorner Kögen. Bei fast 60 % der Proben bleibt das Na unbedeutend. Allerdings ist es bei 28 % der Proben an starker Ausprägung der Knickschichten beteiligt.

Ganz anders sieht es aus in den Husumer Marschen und im Treenegebiet. Der Anteil an Na-Ionen ist im Husumer und im Treene-Raum fast überall unter 5 %. Das Na spielt dort für die Strukturbildung also keine Rolle.

5. Ausprägung des Knicks in den verschiedenen Gebieten

Da die Strukturbildung eng mit der Kationenbelegung verbunden ist, wurde sie bereits mehrfach angesprochen. Bei den Knickschichten wurde beobachtet völlig dichte Lagerung der Teilchen, die sogenannte kohärente Struktur, die Prismenstruktur sowie grobvieleckige Struktur mit Körpern von etwa 10 mm Kantenlänge.

Mit wenigen Bemerkungen sei eingegangen auf die Lage des Knicks im Bodenprofil. In einem Knickmarschprofil des Langenhorner Kooges als Beispiel beginnt ab etwa 20 cm Tiefe die Knickschicht als schwerer Ton, der mehr als 60 % Tonanteil erreicht. Im Oberboden ist mit wenig mehr als 30 % Ton eine andere Schicht zum Absatz gelangt, was auch vom Ca/Mg-Verhältnis (2,9) bestätigt wird. Bei den Knickmarschen besteht der Oberboden meist aus weniger tonigem Material, den Sturmflutschichten. Nur in wenigen Fällen war der oberste Horizont der tonreichste.

In einem weiteren Beispiel sei die Brackmarsch des Treenegebietes angesprochen. Die Bezeichnung Brackmarsch, knickig wurde für das Profil gegeben. Erst in einer Tiefe von 45 cm ist ein Horizont erreicht, der als Knick bzw. knickig angesprochen werden kann mit dichter Struktur und einem Ca/Mg-Verhältnis von 1,5 (Tonanteil: 42 %). Die oberen Horizonte sind Brackmarschbildungen bei Ca/Mg-Werten von 2,7 bis 3,7 (Tongehalte: 20 - 25 %).

In einem Knickmarschprofil von Nordfriesland aus dem Raume Niebüll ist der Tongehalt selbst im Oberboden mit fast 45 % sehr hoch. In den wenig unterhalb 20 cm Tiefe anstehenden Knickschichten erreicht er 50 %. Die Ca/Mag-Verhältnisse sind enger als 1,5. Das Natrium spielt im Unterboden mit über 7 % SMK eine Rolle. Ein Hinweis sei noch gegeben auf die pH-Werte, welche allgemein bei den Knickmarschen um 4 liegen. - Besonders auffallend am letzten Profil ist der starke Unterschied im Ca/Mg-Verhältnis zwischen Unter- und Oberboden (enger als 1,5 gegenüber 4,9), der im Tonanteil keine Parallele findet. Das weite Ca/Mg-Verhältnis im Oberboden mit 4,9 hängt nicht mit den Sedimentationsverhältnissen zusammen, sondern ist durch starke Aufkalkung des zu Versuchszwecken meliorierten Bodens hervorgerufen.

Die einzelnen Sedimentationsräume haben jeweils ihre Besonderheiten, die sich bei der Kartierung bereits herausstellen und durch die analytischen Daten unterbaut, weiter differenziert und erklärt werden können.

Die Knickmarsch auf Föhr liegt mit ihren Tongehalten von vorwiegend 45-60 % in einem mittleren Bereich. Die starke Ausprägung des sehr dichten Knicks, die bei der Kartierung deutlich als extrem erkannt wurde, kommt zustande durch den außerordentlich hohen Anteil von Mg und Na mit weit über 50 % an der Kationenbelegung. - In den Langenhorner Kögen wirkt sich bereits der sehr hohe Tongehalt von vorwiegend 55 bis 70 % ungünstig aus. Der Magnesiumanteil an der Kationenbelegung ist nur wenig geringer als beim Knick der Insel Föhr. Der Knick ist auch im Raum Langenhorn stark ausgeprägt.

Die geringeren Tongehalte und weiteren Ca/Mg-Verhältnisse der Brackmarschen des Treengebietes sowie des Raumes um Husum stimmen überein mit wesentlich schwächerer Ausprägung dichter Strukturen.

Bei der Beurteilung der Marschen der einzelnen Räume ist noch ein weiterer Gesichtspunkt maßgebend. Auf Föhr wie auch in den Langenhorner Kögen ist die Knickbrackmarsch auf großen Flächen zusammenhängend verbreitet. Im Treenegebiet und besonders in der Südermarsch bei Husum nimmt die Brackmarsch dagegen vorwiegend kleine Flächen ein in lebhaftem Wechsel mit Seemarsch bzw. Flußmarsch.

o

9. Zusammenfassung

Bei den bodenmorphologischen Aufnahmen und Kartierungen im Gelände ist es möglich, unter besonders sorgfältiger Erfassung der Strukturbildungen die Marschböden in Seemarsch, Brackmarsch und Knickmarsch zu gliedern.

Die analytischen Daten bestätigen mit den von W. MÜLLER verwendeten Grenzwerten die Geländeansprache. Sie ermöglichen eine Erklärung für die jeweiligen Eigenschaften der verschiedenen Tone und einen Vergleich der Knickschichten über größere Räume.

Als besonders schwer und dicht gilt der Knick von Föhr. Er besitzt nicht den höchsten Tongehalt, er verfügt aber über den höchsten Magnesium- und Natriumanteil an der Kationenbelegung. Dieser bestimmt seine Ausprägung.

L i t e r a t u r :

1 MÜLLER, Werner: Verdichtungserscheinungen in Marschböden. - Z. Z. Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkunde 71 (116), S. 225 - 232, Weinheim 1955

2 MÜLLER, Werner: Grundsätzliche Betrachtungen zur systematischen Gliederung der Marschböden. - Geol. Jb. 76, S. 11 - 24, Hannover 1958

3 STREMME, H. E.: Bodentypen und Bodenarten in Schleswig-Holstein.- 20 S., Karte 1 : 500 000, Kiel 1955

4 DITTMER, E.: Die nacheiszeitliche Entwicklung der schleswig-holsteinischen Westküste. - Meyniana 1, S. 138 - 168, Neumünster 1952.

5 PRANGE, W.: Das Holozän und seine Datierung in den Marschen des Arlan-Gebietes. - Meyniana 13, Kiel 1963

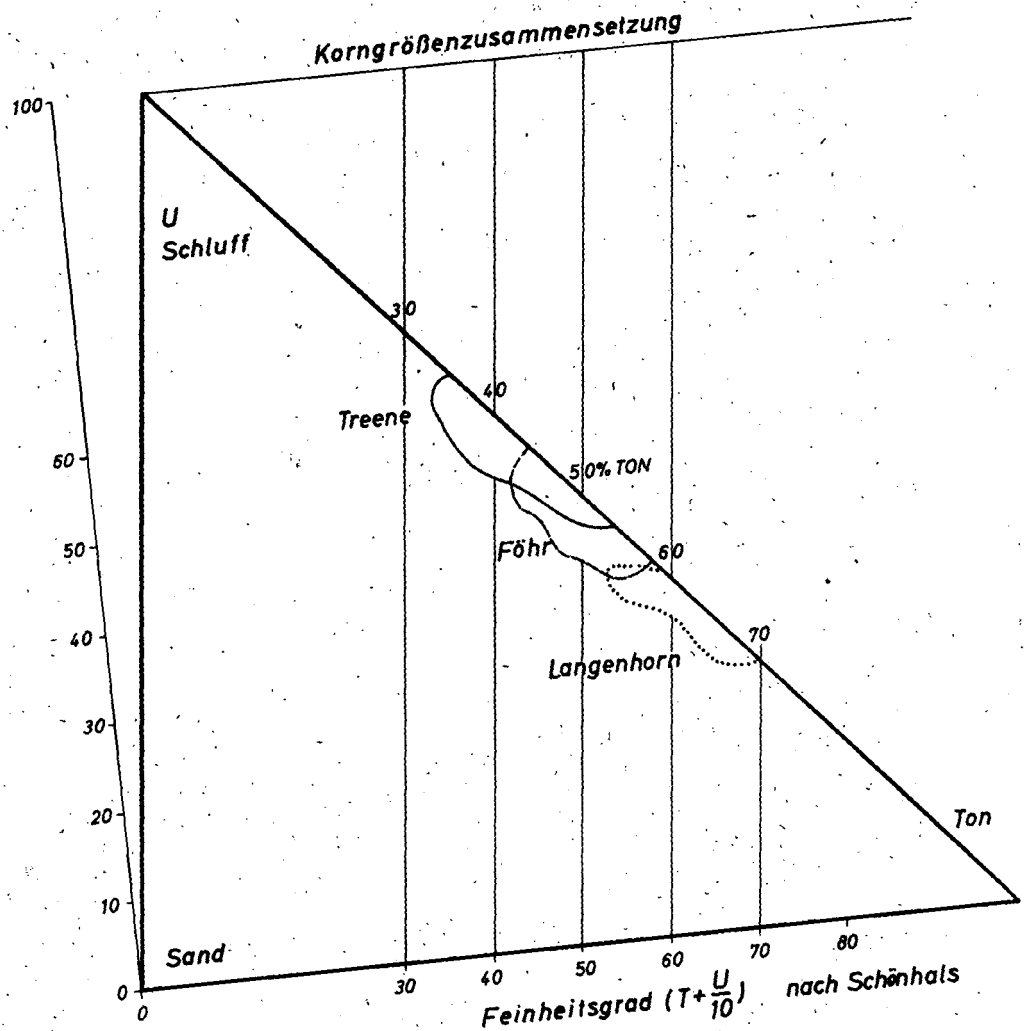
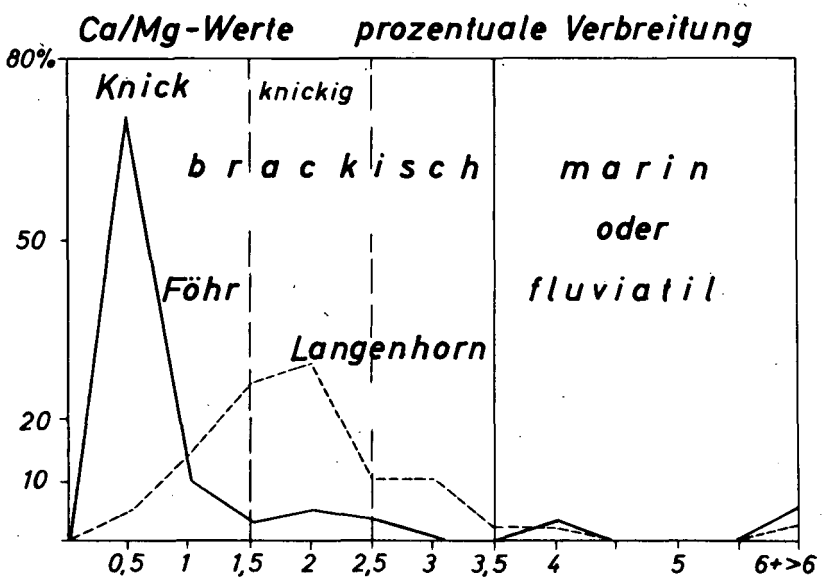

Korngrößenzusammensetzung
U
Schluff
Sand
Ton
Treene
Föhr
Langenhorn
50% TON
30
40
60
70
80
100
60
50
40
30
20
10
0
0
30
40
50
60
70
Feinheitsgrad $(T+\frac{U}{10})$
nach Schönhals

Abb. 1


Ca/Mg-Werte
prozentuale Verbreitung
80%
Knick
knickig
b r a c k i s c h
m a r i n
oder
f l u v i a t i l
50
Föhr
Langenhorn
20
10
0,5
1
1,5
2
2,5
3
3,5
4
5
6+>6

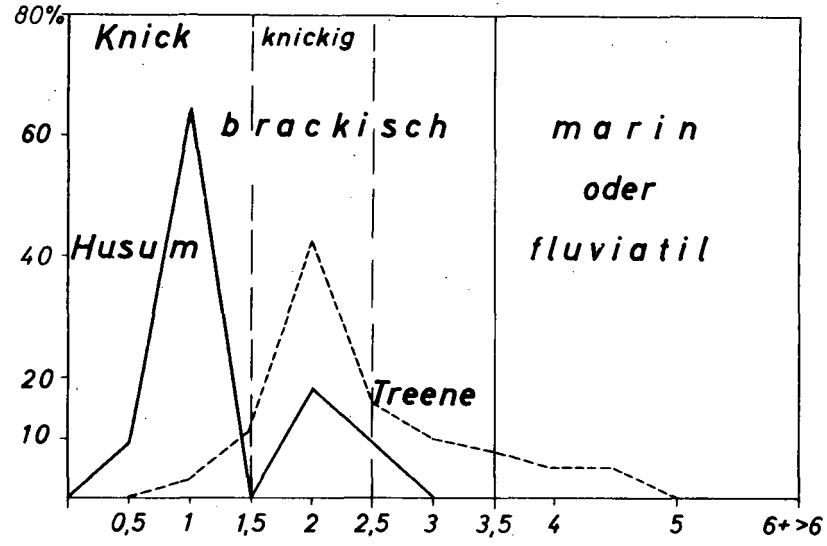

80%
Knick
knickig
60
b r a c k i s c h
m a r i n
oder
f l u v i a t i l
40
Husum
20
Treene
10
0,5
1
1,5
2
2,5
3
3,5
4
5
6+>6

Abb. 2

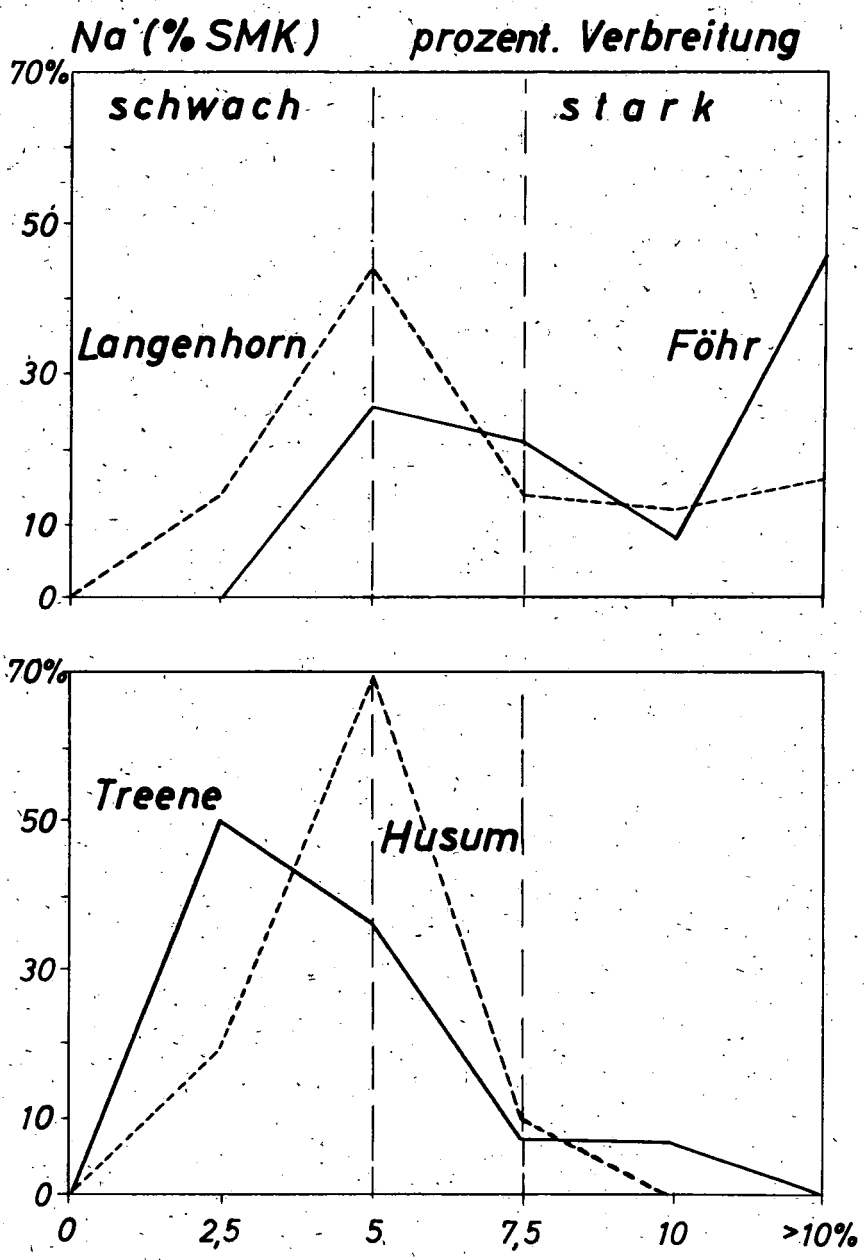

Na (% SMK)
prozent. Verbreitung
70%
schwach
stark
50
Langenhorn
Föhr
30
10
0
70%
Treene
50
Husum
30
10
0
0
2,5
5
7,5
10
>10%

Abb. 3

Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft Bd. 1 S. 63-68. 1963

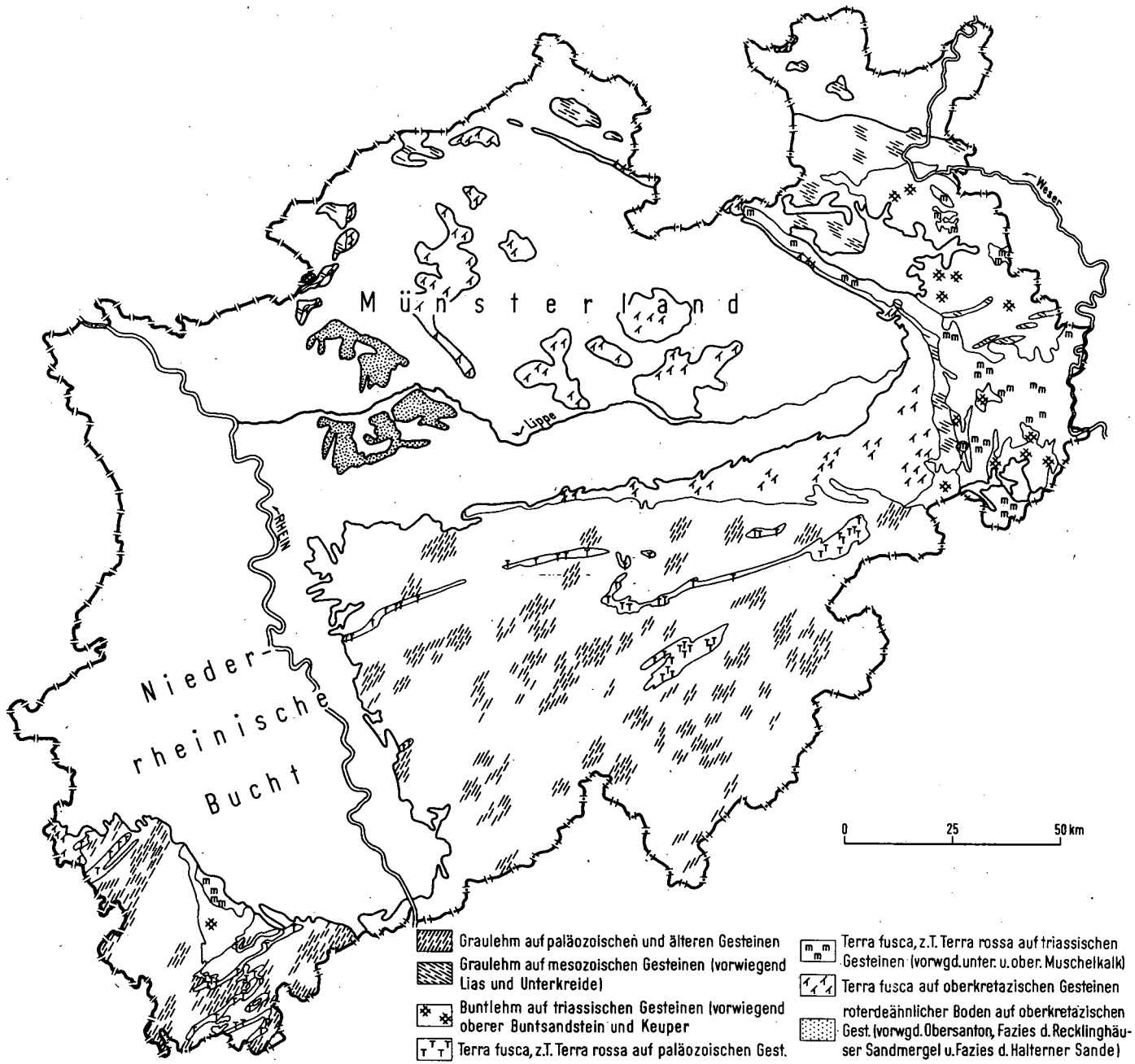
ENTSTEHUNG, ZUSAMMENSETZUNG UND EIGENSCHAFTEN VON GRAULEHMEN, ERLÄUTERT AN BEISPIELEN AUS DEM RHEINISCHEN SCHIEFERGEBIRGE, SOWIE BRAUNPLASTOSOLEN UND TERRA-FUSCA-RELIKTEN IN NORDRHEIN-WESTFALEN

von Hildegard Arens[x)]

Die in Nordrhein-Westfalen vorkommenden Plastosole und Terrae calcis sind fast ausschließlich präquartäre Bodenbildungen. Zu ihrer Entstehung benötigten diese Böden tropisches bis subtropisches Klima, das in Nord- und Mitteleuropa in der Zeit von Beginn der Kreide bis Ende des Tertiärs vorherrschend war, seit dem Ausgang des Tertiärs - infolge der allgemeinen Klimaverschlechterung - jedoch nicht wieder erreicht wurde. Während in dieser Zeit auf den Silikatgesteinen die Plastosole mit den vorherrschenden Typen Graulehm und Braunlehm entstanden, bildeten sich auf den Kalken, Dolomiten und Mergeln jene Böden, die der Klasse der Terrae calcis angehören und die Typen Terra fusca und untergeordnet Terra rossa repräsentieren. Die heute nur noch als Relikte vorhandenen Paläosole werden in großer Verbreitung das Rheinische Schiefergebirge und das vorgelagerte mesozoische Hügelland überzogen haben. Die Mächtigkeit der fossilen Verwitterungsdecken auf den Silikatgesteinen wird in den vor der Erosion geschützten Lagen bis zu 20 m, z.T. bis zu 30 m geschätzt. Auf den Karbonatgesteinen ist ihre Mächtigkeit geringer, da hier die ehemalige Verwitterungsdecke ursprünglich flacher gewesen ist. Die Bodenmasse baut sich bei diesen Substraten nur aus dem Lösungsrückstand auf, der vor allem bei den paläozoischen Kalkgesteinen äußerst gering ist. In den Massenkalkgebieten des Schiefergebirges sind deshalb nur wenige fossile Terrae-calcis-Reste und nur selten in autochthoner Lage zu finden. Die Vorkommen sind fast nur auf Karstschlotten und Klüfte beschränkt. Im Gebiet der mesozoischen Kalke und Mergel ist dagegen die ehemalige Verwitterungsdecke mächtiger gewesen und ist stellenweise auch in ursprünglicher Lage erhalten geblieben.

x) Geolog.Landesamt Nordrhein-Westfalen, 415 Krefeld, Westwall 124

Reste präquartärer Bodenbildungen in Nordrhein-Westfalen



Reste der kretazischen und tertiären Verwitterung sind in den verschiedenen Landesteilen Nordrhein-Westfalens an vielen Stellen festgestellt worden. In Abbildung 1 sind innerhalb des Landes Nordrhein-Westfalen die Gebiete durch Signaturen hervorgehoben, in denen Relikte in autochthoner oder wenig umgelagerter Form beobachtet sind. Es handelt sich dabei zunächst um die Graulehme auf Tonschiefern, Grauwackensandsteinen und Quarziten des Paläozoikums, besonders weit verbreitet im Bereich des Unterdevons, zum weiteren um die Graulehme auf mesozoischen Tonen und Sandsteinen, vorwiegend der Unterkreide und dem Lias zwischen Eggegebirge, Teutoburger Wald und Wiehengebirge in Ostwestfalen. Im Gebiet der Trias, vorwiegend auf Buntsandstein und Keuper, treten die ebenfalls zu den Plastosolen gehörenden Buntlehme auf. Neben diesen Plastosolen kommen verstreut die Terrae-calcis-Relikte auf den Karbonatgesteinen vor: Terra fusca und stellenweise Terra rossa auf den devonischen Massenkalken des Rheinischen Schiefergebirges, Terra fusca auf Plattenkalken des Unterkarbons, Terra rossa auf Kohlenkalken im Aachener Gebiet, im Verbreitungsgebiet des Muschelkalkes Terra fusca und Terra rossa und auf der Oberkreide des Münsterlandes fast ausschließlich Terra fusca, besonders gut erhalten in Teilen der Paderborner Hochfläche und im Raume westlich Münster. Dazu kommen die reinsandigen, fossilen roten Böden auf den sandigen Sedimenten der Oberkreide im Westen des Münsterschen Kreidebeckens mit ihren zahlreichen Eisenschwarten und Verkieselungen.

Außer diesen Flächen gibt es in Nordrhein-Westfalen große Gebiete, in denen Reste der präquartären Bodenbildungen in umgelagerter Form vorkommen, einmal in ziemlich unveränderter petrographischer Zusammensetzung und zum weiteren mehr oder weniger stark vermengt mit quartärem Verwitterungsmaterial.

Zur Beantwortung der Frage nach der Zusammensetzung der fossilen Böden sind eine größere Anzahl von Profilen aus den verschiedenen Landesteilen im chemischen Labor des Geologischen Landesamtes Nordrhein-Westfalen untersucht worden. Die Ergebnisse der Korngrößenuntersuchungen sind graphisch in Summenkurven zusammengestellt und ihre Durchschnittswerte ermittelt worden. Dabei ergab sich, daß das Korngrößenmaximum der Plastosol- und Terrae-calcis-Relikte im Ton- und Feinschluffbereich liegt. Zum weiteren zeigte sich, daß bei den fossilen Böden im Vergleich zu den rezenten das Maximum zu den feineren Korngrößen verschoben ist. Außerdem erbrachte der Vergleich der Kornverteilungskurven, daß die Korngrößenzusammensetzung der Plastosole und der Terrae, trotz großer petro-

graphischer und auch stratigraphischer Unterschiede der Substrate, weitgehend gleich ist.

Von einigen Profilen wurde die Tonmineralführung röntgenographisch untersucht. Es handelt sich bei den Tonmineralen der fossilen Böden in allen Fällen um vorwiegend Kaolinit, wobei das Kaolinmineral Fireclay eine bevorzugte Stellung einnimmt. Bei den zum Vergleich durchgeführten Untersuchungen rezenter Braunerden auf entsprechenden Substraten fehlte die Kaolinitlinie. Erst bei den Braunerden aus Gehängelehm traten Kaolinitinterferenzen mit variierender Intensität hervor, was auf Beimengung fossilen Bodenmaterials durch Bodenfließen zurückzuführen ist.

Eine weitere Bestätigung für die Kaolinitvorherrschaft in den Paläosolen dürfte in den Ergebnissen der chemischen Untersuchung zu finden sein. Die T-Werte der fossilen Böden liegen im allgemeinen bei 10 - 20 mval/100 g Boden. Die geringen Werte sprechen für den sorptionsschwachen Kaolinit als Hauptmineral. Infolge der intensiven Verwitterung der Gesteine und der damit verbundenen Wegführung der Alkalien und Erdalkalien besitzen die Böden besonders niedrige pH-Werte, die bei den Grauplastosolen im Durchschnitt bei 4 und bei den Terrae fuscae um 5 - 5,5 liegen. Die S-Werte sind entsprechend dem pH-Wert gering, und die Basensättigung liegt meist unter 20. Aus dem niedrigen S-Wert erklären sich auch die geringen Gehalte an austauschbarem Kalzium. Dagegen sind die Kaligehalte bei den Graulehmen im Vergleich zu der übrigen schlechten Basenversorgung hoch.

Die Untersuchungen zeigten darüber hinaus, daß das Eisen eine besondere Stellung bei der Verwitterung eingenommen hat. Im Verlauf der Bodenbildung ist das Eisen mobilisiert und abgeführt worden und in tieferen Profilteilen - vorzugsweise auf Klüften und in mürben, aufgelockerten Gesteinspartien - wieder ausgefällt worden, so daß es hier vielfach zu stärkeren Eisenanreicherungen in Form von Bändern oder großen Konkretionen gekommen ist. In Gebieten mit Resten von Terrae calcis lagert das Eisen vielfach auch als glaskopfartige Ausscheidung im Bereich der alten Dolinen. Im Muschelkalk bei Altenbeken östlich Paderborn ist es dagegen zur Bohnerzbildung gekommen, die den bekannten Bohnerzen im Malm der Schwäbischen Alb entsprechen. Untersuchungen auf den Eisengehalt der konkretionären Lagen haben 40 - 47 % Fe erbracht, wobei das Eisen als Nadeleisenerz ausgebildet ist.

Neben diesen Untersuchungen fanden Auszählungen der Schwermineralführung einiger fossiler Bodenhorizonte statt. Es ergab sich, daß nur die verwitterungs-

stabilsten Minerale wie Zirkon, Rutil, Titanit und Magnetit erhalten geblieben waren, wogegen alle instabilen Minerale der intensiven Verwitterung nicht widerstanden hatten.

Was darüber hinaus die fossilen Plastosole und Terrae calcis noch besonders kennzeichnet, ist ihr typisches Lehmgefüge. Das Mikrogefüge dieser Böden ist durch eine leicht bewegliche Feinsubstanz geprägt, die im allgemeinen Fließstrukturen erkennen läßt. Daß die alten Böden Nordrhein-Westfalens einen hohen Anteil von Lehmgefüge haben, wurde anhand einiger mikromorphologischer Bilder gezeigt.

Die Eigenschaften der fossilen Böden Nordrhein-Westfalens dürften, vor allem im Sinne der Bodennutzung, als außerordentlich ungünstig zu bezeichnen sein. Die Plastosole neigen aufgrund ihres hohen Feinbodenanteils und der Vorherrschaft von Kaolinit in der Tonfraktion stark zur Dichtlagerung und zur Stauung des Niederschlagswassers. Das gesamte Porenvolumen ist zwar noch relativ hoch, es beruht aber auf dem hohen Anteil an kleinen Poren, wogegen die größeren Poren, die für die Bewegung des Wassers im Boden sorgen, fast ganz fehlen. Der kapillare Sickerraum endet in den Graulehmen meist in 15 - 20 cm Tiefe, und der gesamte übrige Bodenraum wirkt als Staukörper. Rezent haben sich auf den Plastosol-Relikten Pseudogleye entwickelt. Bodentypologisch werden sie als Graulehm-Pseudogley gekennzeichnet, und dieser Begriff schließt alle wesentlichen Eigenschaften ein, sowohl bodengenetisch als auch standörtlich. Die Eigenschaften der Terrae calcis sind zwar denen der Plastosole ähnlich, jedoch nicht so ungünstig, da ihre Relikte erheblich geringmächtiger sind als die der Plastosole. Außerdem liegen die Reste fast stets auf Kalken oder Dolomiten oder Mergeln, aus denen durch die rezente Verwitterung Basen freiwerden. Auch sind diese Gesteine meist klüftig, wodurch ein guter Wasserabzug in den Untergrund gewährleistet ist. Staunässeerscheinungen sind deshalb, trotz der hohen Tongehalte und des Fehlens aufweitbarer Tonminerale, selten zu beobachten.

Die Plastosol- und Terrae-calcis-Relikte im Rheinischen Schiefergebirge und im angrenzenden mesozoischen Hügelland gehören zu den besonders schweren Böden Nordrhein-Westfalens. Es kommt zwar vor, daß in den verschiedenen Landesteilen aufgrund stark toniger Zusammensetzung einzelner stratigraphischer Horizonte die darauf entwickelten rezenten Böden einen höheren Gehalt an Rohton haben als diese fossilen Böden. Die beson-

dere Tonmineralzusammensetzung und die bewegliche Feinsubstanz verleihen diesen Böden aber Eigenschaften, die sie außerordentlich schwer erscheinen lassen, so daß für sie der Begriff "schwere Böden" mit allen Nachteilen und schwerwiegenden Folgen für die Bodennutzung mit besonderer Deutlichkeit zutrifft.

Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft Bd.1, S. 69-72, 1963

GENETIK, SYSTEMATIK UND VERBREITUNG SCHWERER TONBÖDEN AUF WIESEN-TONMERGELN IM WESTFÄLISCHEN MÜNSTERLAND

von Heinrich Wortmann[x)]

Schwere, aber nicht eigentlich schwierige Böden haben sich in eindeutiger Gesteinsabhängigkeit auf einem vor 10 000 - 15 000 Jahren in Fluß- und Bachniederungen am Rande eines Kreidemergelplateaus im westfälischen Münsterland abgelagerten weichen, schluffigen Tongestein mit fein verteiltem Kalkgehalt (20 - 68 %) gebildet. Das Gestein wird als Wiesentonmergel bezeichnet.

Abweichend von den durch physiko-biologische Prozesse entstandenen Quellkalken, Kalktuffen und im Gegensatz zum süddeutschen "Alm", mit dem eine gewisse Verwandtschaft besteht, ist der Wiesentonmergel ein in einem lebensfeindlichen Milieu abgesetztes mechanisches Stillwassersediment. Der hohe Tonmineralanteil in der Gesamtsubstanz, besonders aber in der Fraktion Rohton ist in allen Bodenhorizonten durch einen höheren Anteil von Montmorillonit gegenüber Kaolonit, Serizit und Illit gekennzeichnet, mit einem Maximum im Hauptverlehmungshorizont unter der Krume. Der Montmorillonitgehalt stammt z.T. direkt von den Kreidemergeln her, aus deren letzteiszeitlichen Aufarbeitungsprodukten der Wiesentonmergel hauptsächlich zusammengeschlämmt ist.

Trotz der verhältnismäßig kurzen Zeit, die für die Bodenbildung zur Verfügung steht, ist in der Regel ein deutliches dreihorizontiges Bodenprofil mit einem weitgehend entkalktem Solum von 50 - 70 cm Mächtigkeit über dem Muttergestein entstanden. Der Betrag für die Entkalkungstiefe paßt gut zu Werten der alten Marschenböden sowie dem wesentlich leichter durchlässigen Löß, der nach neueren Untersuchungen seit etwa 6000 Jahren eine Zunahme der Entkalkungstiefe um 1 m aufweisen kann.

Anschrift des Autors: Dr. habil. H. Wortmann, Oberlandesgeologe am Geologischen Landesamt Nordrhein-Westfalen, 415 Krefeld, Westwall 124

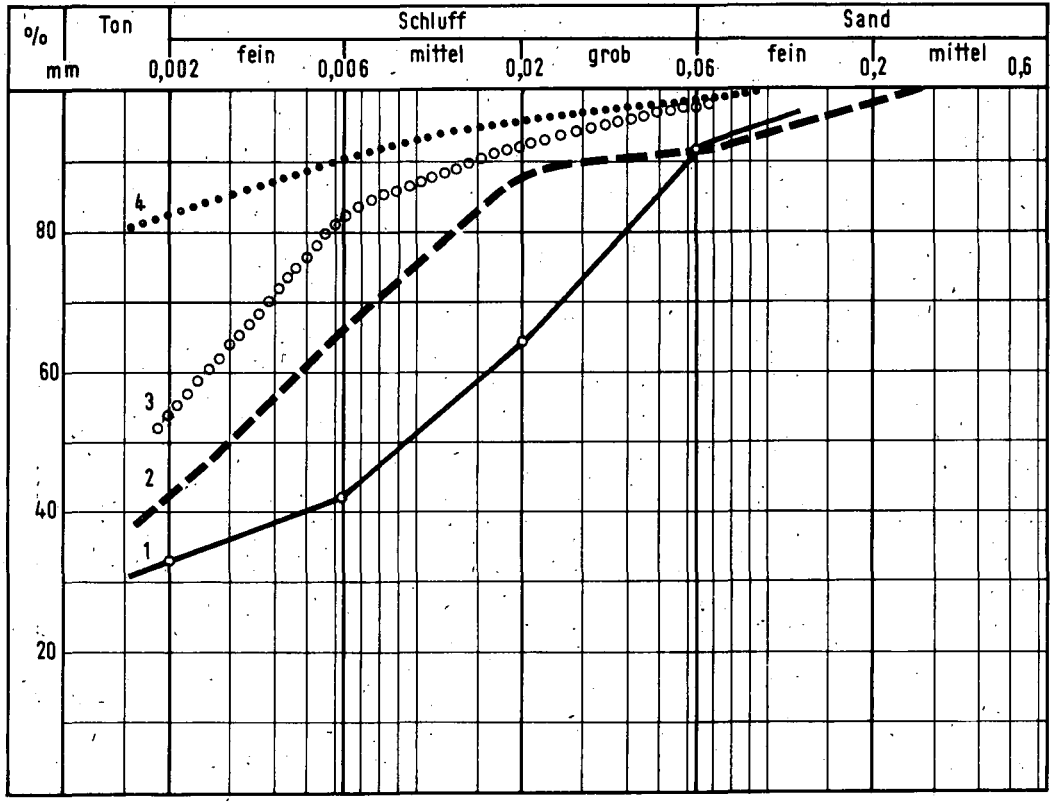


Abb. 1

Korngrößenzusammensetzung von 4 Wiesentonmergeln

1 Wolbeck - Tiergarten
2 Laukotten
3 Freckenhorst 1963
4 Freckenhorst, Wiesenstraße

Der 20 - 30 cm mächtige A-Horizont ist tonig und von mullrendzinaähnlicher Beschaffenheit. Die Kalkhumate (C/N-Verhältnisse zwischen 6 - 9) schränken die Tonquellung ein und sichern die Beständigkeit der schwammigen Krümelstruktur auch bei hoher Durchfeuchtung und stärkerem Regenfall. Der darunter folgende (B) g ist intensiv verwittert und stark vertont. Die basenreiche Bodenlösung und zeitweilige schlechte Dränung infolge starker Quellung sind günstig für Montmorillonitbildung.

Der(B) g-Horizont aus lehmigem Ton hat ein grobes Polyeder-Gefüge mit Schwundklüftung und meistens deutliche Zeichen von Staunässe (unregelmäßige kleine bis mittelgroße Eisenfleckung, 1 - 3 mm große schwärzliche Konkretionen). Der für die Durchlässigkeit kritische B-Horizont weist zwar bei einer Saugspannung von etwa 0,33 atü nur 1,8 Volumen-% zugeordnete Poren auf, jedoch liegt das Porenvolumen bei einer dem permanenten Welkepunkt entsprechenden Saugspannung bei 35 %.

Trotz der bodenkundlichen Hinweise auf Staunässe zeigen die Pflanzengemeinschaften (Grünland und Wald) so gut wie keine Staunässenanzeiger.

Die chemischen Verhältnisse sind günstig. Die pH-Werte liegen in allen Horizonten zwischen 5,6 bis 7,4 die T-Werte zwischen 27 und 54 mval/ 100 g, der Sättigungsgrad sinkt in keinem Horizont unter 81 %.

Die systematische Einordnung ist schwierig, da meistens ein kompliziertes, bei einem Tonboden schwer faßbares Wechselspiel zwischen Grundwasser und Staunässe vorliegt. Tonverlagerung (Lessivierung) ist nicht nachweisbar. Die grundwasserfernen Böden sind als Tonaueböden mit mullrendzinaähnlicher Krume, die grundwasserfernen als pseudovergleyte, z.T. leicht verbraunte Mullmergelrendzinen, Pseudogleye mit Mullkrume und nur zu einem geringen Teil als Pelosole einzustufen.

Von der amtlichen Bodenschätzung sind die Wiesentonmergel als Grünland geschätzt, vorwiegend als LT II mit Wasserstufen 2 - 3, seltener 4, eingestuft und haben Grünlandzahlen von 43 - 54 erhalten. Die Böden bleiben am besten unter Grünland oder Wald. Als Ackerland sind sie wenig geeignet, da bei Offenliegen Schäden am Humus zu erwarten sind und durch unzeitgemäße Bearbeitung mit schwerem Gerät starke Strukturschäden auftreten.

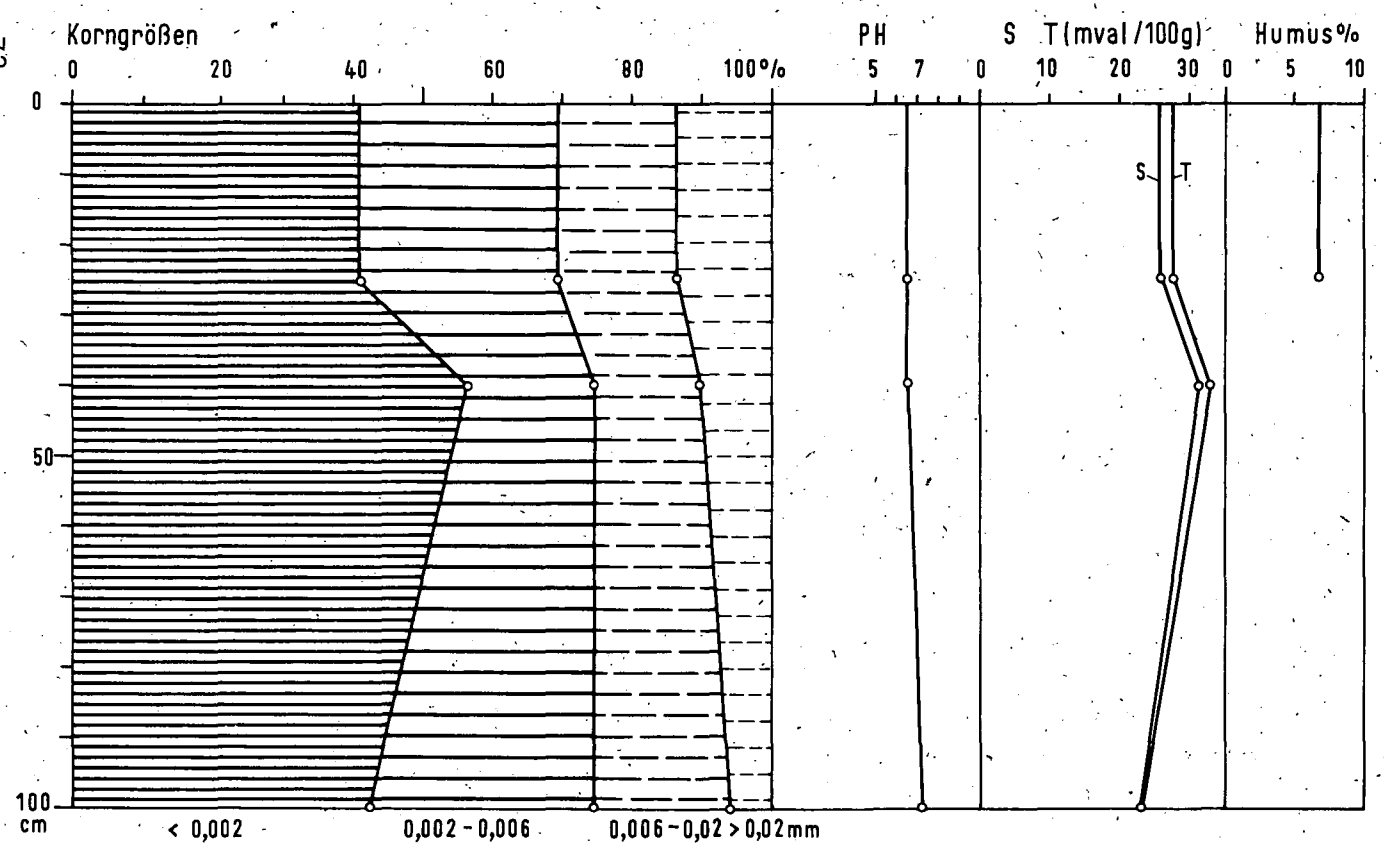


Abb. 2

Korngrößen und Chemismus eines Wiesentonmergelbodens bei Freckenhorst, Kr. Warendorf (Westf.)

Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft Bd. 1 S. 73 - 79, 1963

DER "SUMPFTON" IM WÜRTTEMBERGISCHEN GIPSKEUPER

von Siegfried Müller[x)]

Wer in der Gipskeuperlandschaft am Saume des Keuperstufenrandes bodenkundlich kartiert, der ist immer wieder überrascht, wenn die grauen und braunen Farbtöne der schweren Verwitterungstone des Gipskeupers in vielen Flachsenken in eine blauschwarze und schwärzlichgraue Modifikation übergehen, die etwa 5 - 10 % der Senken einnimmt. Die flächenhafte Verbreitung ist besonders groß, wo die Basis-Gipslager des Gipskeupers oderflächlich ausstreichen und zahlreiche Gipsdolinen örtlich Sümpfe und Tümpel bilden, wie z.B. im Crailsheimer Raum oder im Stuttgarter Talkessel. In der Kartierpraxis der Forstlichen Standortkartierung Baden-Württembergs haben wir diese dunklen Tone bodenartlich bezeichnet und ihnen nach ihrer standortsbedingten Hauptverbreitung den Arbeitsnamen "Sumpfton" gegeben. Im Bereich heutiger Sümpfe und Niedermoore bereitet diese dunkle Modifikation der Bodenart dem bodenkundlichen Verständnis keine besonderen Schwierigkeiten; wo aber der speckige, von feinverteilter organischer Substanz gefärbte, blauschwarze Ton in kleinen Inseln und Nestern auch an mehr oder weniger trockenen Stellen, ja selbst im Verwitterungsbereich der rohen Gipsmergel auftritt, stellt er den Bodenkundler vor interessante Probleme.

Diese Bodenart ist an einer ganzen Anzahl verschiedener Bodentypen beteiligt, je nach der heute wirksamen Kombination von Standortsfaktoren. In Niedermooren findet man den Sumpfton in Anmoorgleyprofilen, oft in Wechsellagerung mit Seekreide und Torf.

Wo die feuchten Senken nicht anmoorig entwickelt sind, ist der Sumpfton gewöhnlich Bestandteil eines Pelogleys, während er in abflußlosen wechselfeuchten, seltener auch in wechseltrockenen Verebnungen den Staukörper von Pseudogley-Pelosolen bildet. In besser drainierten Lagen findet er sich

x) Zweigstelle Stuttgart d. Geolog. Landesamtes i. Baden-Württemberg Stuttgart-O , Sängerstr. 5

nestförmig als Bestandteil von Pelosolen und von pseudovergleyten Parabraunerden. Auch in der Verwitterungszone gipsreicher Lagen des Gesteins kommt er 3 - 4 m unterhalb der heutigen Oberfläche vor, wie man gelegentlich in Baugruben sehen kann. Schwarze phosphatreiche Füllungen in Gipsschlotten, die Heller etwas unglücklich als "Gipsschwarzerde" bezeichnete, zeigen in ihrer speckigen Konsistenz ebenfalls Anklänge an den Sumpfton; doch gilt es die Einzelfälle auf ihre Genese zu überprüfen, da prähistorische Abfallgruben einen sehr ähnlichen Habitus aufweisen können.

Ein wesentliches Merkmal des Sumpftones ist die starke Dispergierung der Bodenart, die sonst kaum mehr solche Grade erreicht selbst in den vielen schweren Bodenarten des württembergischen Keuperberglandes. Auch bei der Aufbereitung mit Wasser ergaben unsere früheren Schlämmanalysen Tongehalte bis zu 60 %, während bei einer Aufbereitung mit Natriumpyrophosphat eine neuere Schlämmanalyse[x] eines Pseudogley-Pelosols mit Sumpfton aus dem Gemeindewald Großbottwar (Kälbling Abt. 10, Profil 15) Tongehalte über 80 % ergibt:

Bodenuntersuchung

Bearbeiter: Dr. W. Käß, Geologisches Landesamt in Baden-Württ. Korngrößen

		in % des Feinbodens < 2,0 mm								
Tiefe cm	Horizont	< 0,002	0,002 - 0,006	0,006 - 0,01	0,02 - 0,06	0,06 - 0,1	0,1 - 0,2	0,2 - 0,6	0,6 - 1,0	1,0 - 2,0
0-10	A_h	42,5	22,4	18,5	14,8	0,5	0,5	0,4	0,2	0,2
20-30	A_g	78,85	4,75	3,45	12,1	0,4	0,2	0,1	0,1	0,05
40-50	B_g	85,5	0,5	0,8	12,4	0,4	0,25	0,1	0,05	0
70-80	B_g	79,7	3,9	1,6	13,0	1,0	0,7	0,1	0	0

x) Für die Ausführung der Bodenuntersuchung danke ich Herrn Dr. W. Käß, Freiburg i. Br.

Tiefe cm	pH n KCl	mval/100 g Boden S	T	T-S	V	mg/100 g Boden CaO in 1%ig NH4Cl	K_2O in Laktat Auszug	P_2O_5 in Laktat Auszug	CaCO %	Org. Subst. %	C/N
0-10	4,67	13,0	45,0	32,0	28,9	200	110	4,0	1,55	16,9	14,0
20-30	5,17	39,6	49,5	9,9	80,0	125	80	1,3	0,55	2,6	-
40-50	5,87	49,85	57,0	7,15	87,5	135	90	0,7	2,15	2,1	-
70-80	6,37	45,5	52,0	6,5	87,5	155	100	1,8	1,6	2,8	-

Trotz der dunklen Farbe sind hier nur 2-3 % organische Substanz vorhanden. Im allgemeinen schwankt der Gehalt an organischer Substanz zwischen 2 u. 10 %. Die übrigen Daten bleiben im Rahmen der Werte vergleichbarer Waldböden aus Gipskeuper ohne Sumpfton. Im Sumpfton liegen i.a. die C/N-Verhältnisse relativ enger als im angeführten Beispiel, meist zwischen 10 und 12. Dies dürfte als Anzeichen reichlicher Stickstoffversorgung die Hauptursache dafür sein, daß schwere Sumpftonlagen, in Senken, die künstlich drainiert wurden, auch von der Fichte intensiv durchwurzelt werden, ohwohl die Fichtenwurzel sonst in luftarmen Tonen sich nur schwach entwickelt.

Die Struktur des Sumpftons ist meist geschlossen, oft klein-bröckelig, selten klotzig-grobpolyedrisch. Der Kalk ist in kleinen festen Mergelbröckchen gebunden und beeinflußt die Bodenlösung nur wenig, wie die pH-Werte zeigen.

Wesenliches Merkmal des Sumpftones als Bodenart ist die außerordentlich große Dispersion und die gleichmäßige Durchsetzung mit feinverteilter organischer Substanz. Weitere Merkmale finden sich nur dort, wo der Sumpfton sich heute noch bildet.

Wenn wir nach größeren rezenten Bildungsräumen für den Sumpfton suchen, so bieten die vielen Niedermoore in der Gipskeuperlandschaft das

beste Anschauungsmaterial. Organische Substanz, Luftarmut und eine sulfatreiche Bodenlösung begünstigen hier überall im relativ sehr hoch liegenden Reduktionsbereich die Entwicklung anaërober Schwefelbakterien, deren aktive Anwesenheit durch frisch ausströmenden Schwefelwasserstoff beim Öffnen der Profile kund wird, während ihre kurz zurückliegende Tätigkeit durch feinverteiltes Schwefeleisen in den Reduktionshorizonten bezeugt wird, das im Gelände mit Salzsäure ebenfalls an der Entwicklung von Schwefelwasserstoff nachweisbar ist. Doch verschwindet das nachweisbare Schwefeleisen im Boden, sobald die extremen Reduktionsverhältnisse sich ändern. Im Niedermoor der "Stillen Musel" bei Bad Dürrheim ergab die Untersuchung der Proben aus 40 - 50 cm Tiefe, einer Zone, der intensiver H_2S-Geruch entströmte, keine Anwesenheit von Schwefeleisen, während das in 80-90 cm Tiefe vorhandene FeS auf 100 g Trockengewicht des Bodens 9,86 ccm H_2S entwickelte. Proben aus 110 - 120 cm Tiefe entwickelten 14,54 ccm H_2S je 100 g Trockenboden.

Wo solcher noch Schwefeleisen enthaltender Sumpfton an Leitungsgräben ausgehoben wird, überzieht er sich an der Luft mit weißen Ausblühungen von Gips, der aus dem Umsatz des an der Luft oxydierenden Schwefeleisens mit der an Kalzium-Karbonat reichen Bodenlösung entsteht. Derartige Stellen werden vom Leitungsingenieur besonders gefürchtet, da hier erfahrungsgemäß die stärkste Korrosionsgefahr für das Metall der Leitungsrohre besteht. Über 600 mg Sulfationen je Liter Wasser sind keine Seltenheit.

Sehr anschaulich läßt sich derzeit die Sumpftonbildung an einem Hochwasser-Rückhaltebecken studieren, das im Jahre 1961 bei Crailsheim in einem Flachtal des mittleren Gipskeupers angelegt wurde. Ende Mai wurden die dortigen Fettwiesen überstaut, wobei eine große Menge organischer Substanz unter Wasser geriet. Nach wenigen Wochen trat am Auslauf unterhalb des Dammes starker Schwefelwasserstoffgeruch auf, der bis heute (Juli 1963) anhält. Vor dem Staudamm, wo der Teich 4-5 m tief ist, läßt sich im untersten halben Meter des Stauraumes eine konstante H_2S-Zone nachweisen. Am Oberende des Staubereiches im Schilf- und Seggengürtel, bei Wassertiefen von 0,20 cm bildet sich Schwefelwasserstoff nur in den obersten Zentimetern, des dort an organischer Substanz sehr reichen Gipskeuperschlammes. Hier entsteht die bläulichschwarze, feinverteilte Farbe des Sumpftones, der sich hier als Faulschlamm oder Sapropel erweist.

Die weite Verbreitung der Sumpftone in Gipskeupersenken ist ein Hinweis auf ehedem verbreitete Tümpel- und Seebildung in diesem Gebiet bei

gleichzeitiger hoher Produktion organischer Substanz und hoher Konzentration von Sulfat aus dem in noch frischen Fliesserden großflächig aufbereiteten Rohgestein. Es liegt nahe, die feuchtwarmen Abschnitte der postglazialen Eichen-Mischwaldzeit hinter der Mehrzahl dieser subfossilen Bildungen zu vermuten, während ihre ersten Ansätze älter sind und bis in's Spätglazial reichen. In größeren Senken mit geringem Abfluß entstanden später aus solchen Seen die verbreiteten Gipskeupermoore. Daneben gibt es, wie erwähnt, auch eine jüngere und rezente, örtlich bedingte Sumpftonbildung.

Das Besondere an der Entstehung dieses Faulschlammes ist aber, daß die Prozesse der anaeroben Schwefel-Bakterien hier sehr oberflächennah verlaufen, in Zonen, wo der Luftabschluß für die Schwefelwasserstoffzone bei weitem nicht so hermetisch garantiert ist, wie am Grunde eines tieferen Gewässers.

Diese Besonderheit tritt noch viel stärker hervor, wenn wir die kleinen und kleinsten Nester von blauschwarzem Sumpfton betrachten, wie sie z.B. an dauernd befeuchteten Einsickerungsstellen im Garten auf luftarmen Gipsmergeln in einigen Jahren wenige Zentimeter unter der Oberfläche entstehen, und zwar meist an der Untergrenze der bearbeiteten Zone. Hier ist wenigstens noch ein sichtbarer Zusammenhang mit organischer Substanz vorhanden, auf deren Basis sich der bakterielle Kreislauf der vermutlichen Schwefelbakterien vollziehen mag, wenn auch der Luftabschluß nur sehr kurzfristig ist. Vielleicht mag hier Potoniés Begriff des "Amphisapropels" angebracht sein, das unter organischer Substanz in kurzfristigen Waldtümpeln entsteht, wobei Eiweißfäulnis, Dunkelfärbung durch Schwefeleisen und Erhaltung eines Teiles des Stickstoffs kennzeichnend sind.

Wo der Sumpfton dagegen als Verwitterungsprodukt von Gipslagen entsteht, die noch im kompakten Gesteinsverband ausgelaugt werden, ist ein Verständnis der Vorgänge wesentlich schwieriger. Bis weitere Beobachtungen und evtl. auch Experimente diese Erscheinung klären, möchte ich eine Beobachtung aus einem sulfat- und chloridreichen, feuchten Senkenboden der Sahara heranziehen, den ich südlich des Oase Wargla (Südalgerien) im September 1952 sah.

Dieser hellbraune, sandige Gley war in seinem Kapillarwassersaum in 16 bis 25 cm Tiefe vorwiegend schwarzgrau und schwarz mit hellgrauen Flecken

und Schlieren. Aus dieser Zone strömte ein durchdringender Schwefelwasserstoffgeruch, obwohl bei der hohen Kochsalz- und Gipskonzentration überhaupt kein höheres Pflanzenleben möglich und die ganze Oberfläche völlig vegetationsfrei war. Unter der Sulfidzone folgte wieder hellbrauner feuchter Grobsand bis zum Grundwasser, das in 40 cm Tiefe stand.

Hier lag ein Bodenhorizont vor, in dem sich der Kreislauf der Schwefelbakterien ohne äußerlich erkennbare organische Substanz abspielte. Mitgenommene Proben hatten bei der Rückkehr nach 6 Wochen ihre schwarze Farbe verloren, da die Sulfide in dem sandigen Substrat durch Luftzufuhr zu Gips- und Brauneisen umgesetzt waren.

Ähnliche Vorgänge möchte ich an besonders sulfatreichen und zeitweilig feuchten Stellen des verwitternden Gipskeupers im Kapillarsaum der Bodenfeuchte für gegeben halten. Möglicherweise genügen geringste Mengen organischer Substanz, wie sie mit Sickerwässern zugeführt werden, um bakterielle Umsätze an kleinen Herdstellen anzuregen. Entscheidend für diese außerordentliche Neigung zu sapropelartigen Prozessen, bei nur gelegentlicher Drosselung der Luftzufuhr scheint das stellenweise sehr hohe Angebot an Sulfat-Ionen in der Bodenlösung der Gipskeuperverwitterungsdecke zu sein.

Das Problem des Sumpftones und seiner Genese konnte ich hier nur an Hand augenfälliger Phänomene, wie sie mir im Gelände begegnet sind, grob umreißen. Für die Aufklärung der genetischen Zusammenhänge im Einzelnen sind aber besonders nach der bakteriologischen Seite und zur Einordnung der Entwicklungsstufen in die Gruppe der Sapropele noch viele systematische Untersuchungen erforderlich.

S c h r i f t t u m :

Brunnacker, K.: Erläuterungen zur Bodenkarte von Bayern 1:25 000, Blatt Nr. 6227, Iphofen, München 1959

Müller, S.: Grundzüge der Bodenbildung im württembergischen Keuperbergland. - Mittlg. Ver. Forstl. Standorts-Kunde, 11 (1961) S. 3 - 60

Potonié, R.: Rezente Vergleichsobjekte zur Entstehung von Kohle und Erdöl. Zeitschr. Dt. Geol. Ges. 109 (1957) S. 411-447.

Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft Bd. 1 S. 81-83, 1963

DIE SCHWEREN BÖDEN BAYERNS IN GEOLOGISCHER UND BODENGESCHICHTLICHER SICHT[x)]

von Karl Brunnacker[xx)]

Die schweren Böden werden als eine Untergruppe innerhalb der schwierigen Böden aufgefaßt. Sie sind damit begrifflich nicht in der genetischen, sondern in der angewandten Bodenkunde verankert. Bodengenetisch handelt es sich bei diesen schweren Böden um eine heterogen zusammengesetzte Gruppe, auf die bodengeschichtlich folgende Faktoren und Entwicklungsphasen Einfluß zu nehmen vermögen.

1. Gestein, 2. alte Verwitterung (Tertiär, Altquartär), 3. Umlagerung (vorwiegend periglazial), 4. junge (postglaziale) Bodenbildung, 5. Einfluß des Menschen.

Ausgehend vom Gestein lassen sich innerhalb der schweren Böden zwei Hauptgruppen unterscheiden:

1. Gesteinsbedingt schwere Böden (z.B. aus Ton und Mergel);
2. pedogenetisch schwere Böden (z.B. durch fossile Verwitterung z.B. aus Kristallin und rezente Verwitterung z.T. aus Löß usw.).

Innerhalb der ersten Hauptgruppe kann weiter gegliedert werden durch Berücksichtigung stark verfestigter Gesteine (z.B. des Mesozoikums) und solcher, die infolge geringer Auflast noch über mehr oder weniger plastische Eigenschaften verfügen (z.B. des Jungtertiärs oder Quartärs). In der zweiten Hauptgruppe ist eine Differenzierung durch Unterscheidung fossiler Entwicklung (z.B. Braunlehm) und rezenter Bildungsvorgänge (Lessivierung) möglich.

Die weitere Aufgliederung ergibt sich aus Abbildung 1.

---

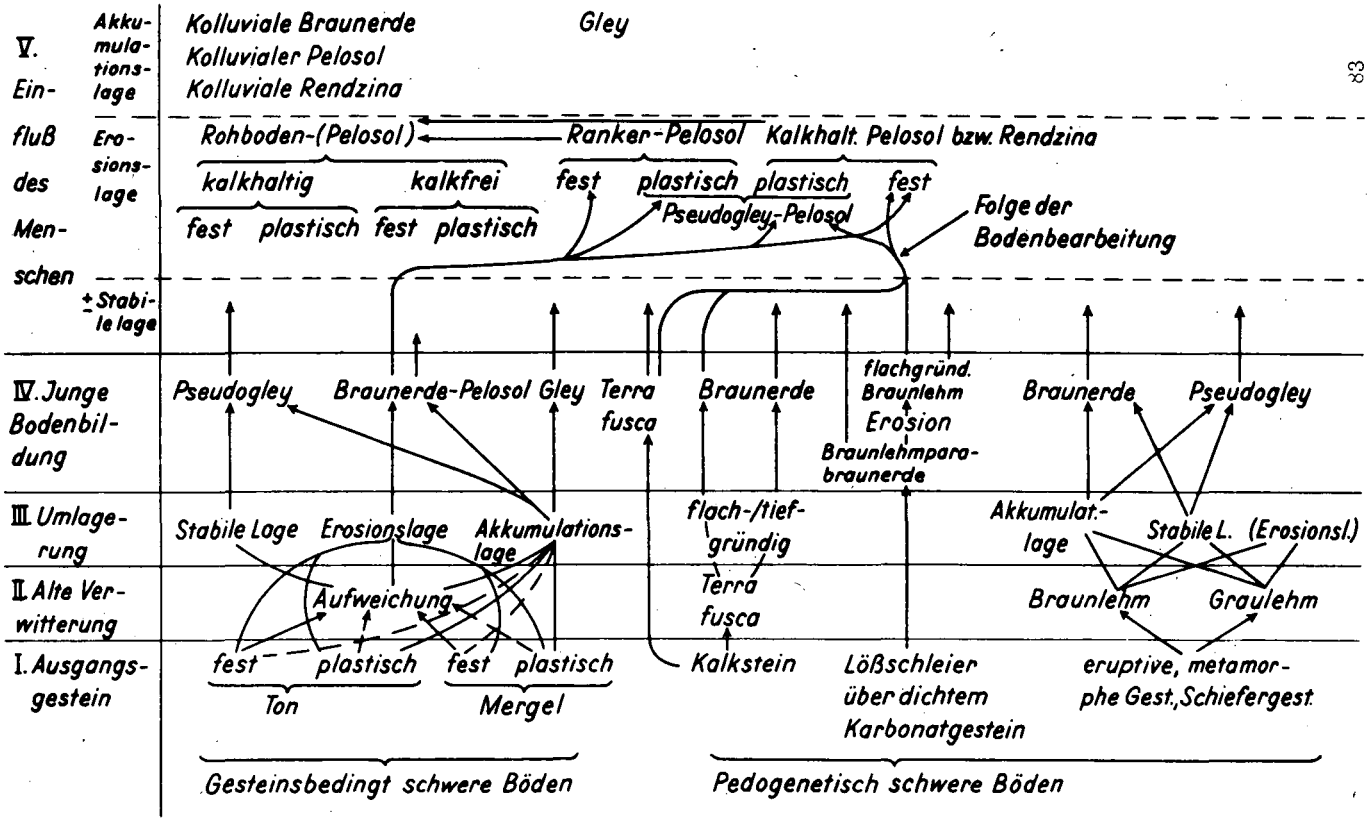
x) Eine ausführliche Darstellung erscheint im Bayerischen Landwirtschaftlichen Jahrbuch 1963

xx) Bayer.Geolog.Landesamt, München 22
Geolog.Inst.d.Universität, Köln, Zülpicherstr. 47

Als Ergebnis für die junge Bodenbildung folgt daraus eine enge Bindung der typologischen Gestaltung dieser schweren Böden an die Geländeausformung bei relativ wenigen Grundtypen, z.B. Pseudogley in Plateaulagen, Braunerde in Hanglagen und Gley in Reliefdepressionen. Durch die ackerbauliche Bodennutzung wird in Hanglagen eine kräftige Bodenerosion dort ausgelöst, wo solche schweren Böden vorkommen. Infolge dieser Erosion kommt es hier jetzt zu einer Aufdifferenzierung hinsichtlich des Bodentypes bei wieder stärkerer Einflußnahme des spezifischen Gesteinscharakters auf den Boden (z.B. Pelosol, Ranker, Rendzina, Rohboden).

Innerhalb Bayerns finden sich vor allem im Gebiet des Lettenkeupers, des Gipskeupers, des Lias und Doggers solche gesteinsbedingt schwere Böden. Pedogenetisch schwere Böden treten hingegen in größerer Verbreitung im Bereich der Albüberdeckung in der Frankenalb auf. Insgesamt nehmen diese schweren Böden innerhalb Bayerns überschlagsmäßig 10 - 15 % der Fläche ein.

Abb, 1: Die bodengeschichtlichen Entwicklungsphasen der schweren Böden.


V. Einfluß des Menschen
Akkumulationslage
Kolluviale Braunerde
Kolluvialer Pelosol
Kolluviale Rendzina
Gley
Erosionslage
Rohboden-(Pelosol)
Ranker-Pelosol
Kalkhalt. Pelosol bzw. Rendzina
kalkhaltig
kalkfrei
fest
plastisch
fest
plastisch
fest
plastisch
plastisch
fest
Pseudogley-Pelosol
Folge der Bodenbearbeitung
± Stabile lage
IV. Junge Bodenbildung
Pseudogley
Braunerde-Pelosol
Gley
Terra fusca
Braunerde
flachgründ. Braunlehm
Erosion
Braunlehmpara-braunerde
Braunerde
Pseudogley
III. Umlagerung
Stabile Lage
Erosionslage
Akkumulationslage
flach-/tiefgründig
Akkumulat.-lage
Stabile L.
(Erosionsl.)
II. Alte Verwitterung
Aufweichung
Terra fusca
Braunlehm
Graulehm
I. Ausgangsgestein
fest
plastisch
fest
plastisch
Ton
Mergel
Kalkstein
Lößschleier über dichtem Karbonatgestein
eruptive, metamorphe Gest., Schiefergest.
Gesteinsbedingt schwere Böden
Pedogenetisch schwere Böden

Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft Bd. 1 S. 85-92, 1963

PROFILMORPHOLOGISCHE MERKMALE DER PELOSOLE IN NORDBAYERN UND IHRE KARTIERUNG

von T. Diez[x)]

Aus der großen Gruppe der "Schweren Böden" möchte ich eine für unseren nordbayerischen Raum besonders charakteristische Gruppe von Böden herausstellen, deren Klassifikation innerhalb des bestehenden genetischen Systems schon immer Schwierigkeiten bereitete und die neuerdings unter der Bezeichnung "Pelosole" in der Literatur geführt werden.

Der Begriff "Pelosol" wurde von F. Vogel für Böden aus tonigen Substraten vorgeschlagen und in einem Entwurf zur Systematik der Böden Deutschlands von E. Mückenhausen erstmalig verwendet. Daß sich die Böden aus tonigen Substraten nicht ohne weiteres in die schon bestehenden systematischen Einheiten einreihen ließen, geht aus älteren Bezeichnungen wie "Bunte Ton- und Mergelböden" oder "Bunttone" hervor, wie sie von H. Stremme (1930) und W. Laatsch (1957) gebraucht wurden. E. Mückenhausen (1961) hat in seiner Systematik der Böden der Bundesrepublik Deutschlands den Pelosolen eine eigene Klasse eingeräumt und Typ und Subtypen näher beschrieben. Ich selbst habe in meiner Dissertation Entwicklung und Eigenschaften von Böden aus tonigen Substraten untersucht und dabei den Begriff "Pelosol" näher zu definieren und abzugrenzen versucht. Im Rahmen der z.Zt. laufenden bodenkundlichen Kartierung von Blatt Ansbach-Süd im Maßstab 1:25 000 hatte ich nun erstmalig Gelegenheit, in einem Gebiet zu kartieren, in dem Pelosole flächenhaft auftreten. Eine Gliederung der Pelosole, wie sie sich auf Grund von Beobachtungen im Gelände als brauchbar erwiesen hat, soll hier vorgelegt werden.

Zunächst möchte ich das zentrale Konzept des Pelosols sowie die Sonderstellung des Pelosols gegenüber anderen Bodentypen klar herausstellen:

x) Bayer.Geol. Landesamt, München 22, Prinzregentenstraße 28

Pelosole sind Böden mit schwerer Bodenart - stark toniger Lehm bis Ton -, die aus primär tonigen, skelettarmen Substraten hervorgegangen sind und die einen spezifischen Luft- und Wasserhaushalt besitzen. Charakteristisch ist für den Pelosol der P-Horizont, ein hochplastischer, bei kalkhaltigem Ausgangsmaterial entkalkter, stark toniger Horizont mit ausgeprägtem Sekundärgefüge und ohne stärkere Farbveränderung gegenüber dem Ausgangsmaterial.

Der P-Horizont ist für den Pelosol in gleicher Weise Charakterhorizont, wie es der B_v-Horizont für die Braunerde oder der A_2-Horizont für den Podsol ist. So wie der B_v-Horizont das Ergebnis der chemischen Verwitterung der Primärminerale, so wie der A_2-Horizont das Ergebnis von Tonzerstörung und humussaurer Durchschlämmung ist, so ist der P-Horizont das Ergebnis der Aufweichung von den im Ausgangsmaterial diagenetisch verfestigt vorliegenden Tonaggregaten. Eine Einordnung der Böden aus tonigen Sedimenten in die Klasse der Braunerden, wie sie K. Brunnacker (1957) auf Blatt Iphofen noch teilweise vorgenommen hat, erscheint mir deshalb nicht mehr gerechtfertigt. Denn auch dort, wo das tonige Ausgangsmaterial eine gewisse Verbraunung zeigt, handelt es sich nicht in erster Linie um eine Verwitterung von Primärsilikaten mit der eine Freisetzung des gittergebundenen Eisens und eine Tonmineralneubildung einhergeht, sondern nur um eine Umformung des schon im Ausgangsmaterial vorhandenen freien Eisens.

Der genetischen Sonderstellung des Pelosole entspricht auch eine Sonderstellung hinsichtlich ihrer Dynamik. Sie ist bedingt durch den hohen Kolloidgehalt, das große Quellungs- und Schrumpfungsvermögen und die sich daraus ergebenden Wirkungen auf Luft- und Wasserhaushalt.

Ich möchte hierauf nicht näher eingehen, sondern vielmehr zu den Erscheinungsformen der Pelosole in unserem Raum kommen.

In Nordbayern sind tonige Sedimente, aus denen sich Pelosole entwickeln können, besonders reich vertreten. Es sind dies die Tone des Unteren Keupers, die Gipskeupertone (Myophorien-, Estherien- und Lehrbergschichten), Zwischenletten um Blasen- und Burgsandstein, die Zanclodonletten des Mittleren Keupers sowie die Juratone (Amaltheen-, Opalinus- und Ornatenton).

Wenn Pelosole trotz der starken Verbreitung von tonigen Sedimenten relativ selten, keineswegs in gleicher Flächenausdehnung wie die in der geologischen Karte ausgeschiedenen Tonsedimente auftreten, so hat das im wesentlichen folgende Gründe:

1. Die tonigen Sedimentgesteine bilden im fränkischen Schichtstufenland überwiegend die mehr oder weniger steilen Hänge und wurden durch periglaziale Solifluktion von skelettreichem Hangschuttmaterial des Hangenden übermantelt. Dies ist der weitaus häufigste Fall. Es liegen dann Schichtprofile vor, auf deren Klassifikation ich im folgenden noch zu sprechen komme.

2. Die weichen tonigen Sedimente und die aus ihnen hervorgehenden Böden sind für die Erosion sehr anfällig. Unter Ackernutzung wurden die Pelosole in Hanglage oft bis auf das frische Gestein abgetragen. Dies trifft häufig auf den - zumindest früher - meist beackerten Gipskeupertonen zu.

3. Große Flächen, die nach ihren geologischen Verhältnissen Pelosole erwarten ließen, haben durch äolische Deckschichten - Flugsand und Löß - ihre schwere Bodenart im Oberboden weitgehend verloren und sind deshalb oft nicht mehr zu den Pelosolen zu stellen. Dieser Fall gilt besonders für die in der altpleistozänen Landschaft des Albvorlandes verbreiteten Liastone.

Pelosole aus reinen Tonsedimenten sind also nur dort zu erwarten, wo sich solifluktive oder äolische Deckschichten nicht bilden oder halten konnten und wo die junge Erosion die auf dem reinen Tonsediment abgelaufene Bodenbildung nicht, bzw. nicht völlig zerstört hat.

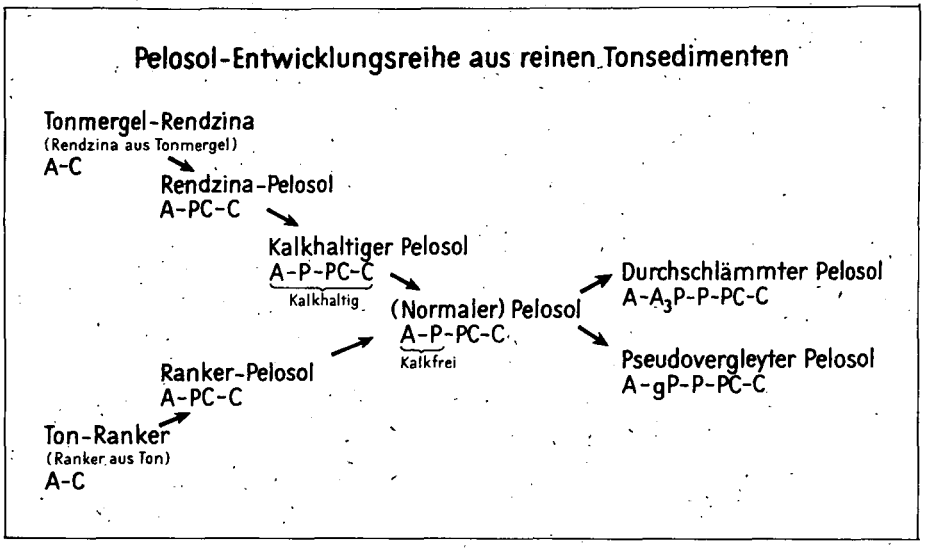


Abb. 1

In dem oben gezeigten Schema sind die Pelosol-Subtypen aufgeführt und zu einer Entwicklungsreihe geordnet, die im Gelände immer wieder beobachtet und im allgemeinen flächenmäßig gegeneinander abgegrenzt werden konnten.

Die Tonmergel-Rendzina hat mit dem Pelosol nur das Ausgangsmaterial gemein und steht nur deshalb in der Pelosol-Entwicklungsreihe, weil aus ihr das jüngste Pelosol-Stadium hervorgeht. Sie findet sich auf beackerten oder früher beackerten Flächen in ausgesprochener Erosionslage, also z.B. auf kleinen Kuppen oder an Hangschultern. Der A-Horizont liegt unmittelbar auf dem unverwitterten, lockeren Tonsediment. Es fehlt ein P-Horizont, also ein plastischer, quellfähiger Horizont, der für den spezifischen Luft- und Wasserhaushalt der Pelosole charakteristisch ist. Aus diesem Grund halte ich es auch nicht für richtig, von einer Pelosol-Rendzina oder - wie Mückenhausen (1962) - von einem "Geringmächtigen Pelosol" zu sprechen.

Das A-C-Stadium tritt auch auf kalkfreien Tonsedimenten auf, die sich gelegentlich im Keuper finden. Ich habe es vorläufig als "Ton-Ranker" bezeichnet. Der Name ist nicht sehr glücklich, da der Begriff "Ranker" bisher nur für skelettreiche Böden verwendet wurde. Die Bezeichnung ist jedoch insofern nicht ganz abwegig, als sich die unverwitterten Keuper- und Jura-Tonsedi-

mente mit ihrer eigenartigen plattigen, splitterigen oder graupeligen Struktur noch weitgehend wie grobskelettreichen Böden verhalten.

Als genetisch jüngster Pelosol-Subtyp wurde der Rendzina-Pelosol - auf kalkfreien Substraten entsprechend der Ranker-Pelosol - ausgeschieden. Er besitzt einen PC-Horizont von etwa 1 - 3 dm Mächtigkeit. Es handelt sich hierbei um einen Übergangshorizont mit stärkerer Plastizität als im C-Horizont. Charakteristisch für diesen Horizont sind die noch deutlich erkennbaren primären Gefügeaggregate, die in eine strukturlose, aufgeweichte Tonmasse eingebettet sind. Rendzina-Pelosol und Tonmergel-Rendzina treten gewöhnlich in so enger Vergesellschaftung miteinander auf, daß sie bei der Kartierung i.M. 1 : 25 000 als Kartierkomplex zusammengefaßt werden müssen.

Beim Kalkhaltigen Pelosol haben wir dann bereits einen voll ausgebildeten, wenn auch geringmächtigen P-Horizont mit annähernd vollständiger Auflösung der primären Tonaggregate und hochplastischen Eigenschaften. Der Kalkgehalt im A- und P-Horizont ist sehr viel geringer als im PC- oder C-Horizont und findet sich gewöhnlich als Restkalk im Innern der Sekundärgefügekörper. Aber auch eine natürliche Aufkalkung vom Oberhang her ist möglich. Die Entwicklungstiefe geht selten über 60 cm hinaus.

Der Kalkhaltige Pelosol tritt auf Blatt Ansbach-Süd relativ häufig auf und zwar bevorzugt auf den flach auslaufenden Hängen der Estherienschichten am Rand des oberen Altmühltales.

Der (Normale) Pelosol ist im A- und P-Horizont kalkfrei. Entwicklungstiefen von 1 m und mehr sind nicht selten. Solche tief entwickelten, autochthonen Pelosole finden sich jedoch nur in Lagen, in denen die rezente Erosion nicht oder kaum wirksam werden konnte. Sie sind sehr wahrscheinlich älter als postglazial. Die normale postglaziale Entwicklungstiefe dürfte kaum über 60 cm hinausgehen.

Als Pseudovergleyte Pelosole wurden bei der Kartierung nur die Pelosole mit stärkeren Staunässemerkmalen ausgeschieden. Eine leichte Fleckung und Konkretionsbildung möchte ich bereits dem Normalen Pelosol zubilligen. Die schlechte Durchlüftung der Böden im wassergesättigten Zustand gehört definitionsgemäß zur spezifischen Dynamik der Pelosole und muß zwangsläufig auch gewisse Staunässemerkmale hinterlassen.

Ein Durchschlämmter Pelosol konnte als Kartiereinheit nicht ausgeschieden werden, da sich eine bei den Pelosolen weitverbreitete Mehrschichtigkeit

nur auf Grund eingehender Untersuchungen von Bodenartenunterschieden als Ergebnis einer Tondurchschlämmung unterscheiden läßt. Die Entscheidung, ob es sich bei einem schluffreichen Oberbodenhorizont um Eluviation oder um eine Lößauflage handelt, ist im Gelände schon deshalb oft nicht möglich, da die Lias- und Keuper-Tonsedimente selbst eine starke Schluffkomponente besitzen. Es besteht jedoch kein Zweifel, daß es eine echte Tondurchschlämmung bei Pelosolen gibt, die zur Ausbildung von A_3-Horizonten führen kann. Deutliche Ton- und Humustapeten können schon beim Kalkhaltigen und beim (Normalen) Pelosol beobachtet werden. Daß Durchschlämmte Pelosole mit intakten A_3-Horizonten nur selten anzutreffen sind, darf nicht verwundern, wenn man an die starken Erosionslagen denkt, unter denen die Pelosole in unserem Raum hauptsächlich vorkommen, S. Müller (1961) hat aus Württemberg über starke Tondurchschlämmung bei Gipskeupertonen berichtet und gleichzeitig auf die weite Verbreitung skelettreicher Deckschichten hingewiesen. Der in der württembergischen Waldstandortskartierung ausgeschiedene "Lehmkerf" dürfte teilweise dem Durchschlämmten Pelosol entsprechen.

Böden aus Tonsedimenten mit geringmächtigen skelettreichen Deckschichten

a) Deckschichtmächtigkeit < 15 cm

z.B. Pelosol mit sandiger Deckschicht (1dm)
A-IIP-PC-C

b) Deckschichtmächtigkeit 15-30 cm

Pelosol-Braunerde	Pelosol-Pseudogley
$A-B_v-IIP-PC-C$	$A-g_1-IIg_2P-PC-C$

c) Deckschichtmächtigkeit über 30 cm

z.B. Braunerde mittlerer Entwicklungstiefe aus sandigem Hangschutt (4dm) über Ton

Abb. 2

Das Deckschichtenproblem spielt, wie nun schon mehrfach erwähnt, bei Pelosolen eine besondere Rolle. Häufiger als Böden aus reinen Tonsedimenten treten solche auf, bei denen über dem tonigen Substrat eine mehr oder weniger mächtige skelettreiche Deckschicht liegt. Es ist selbstverständlich, daß die spezifische Dynamik der Pelosole um so mehr in den Hintergrund tritt, je mächtiger die über dem P-Horizont liegende Deckschicht ausgebildet ist. Von Pelosolen oder Pelosol-Übergangstypen kann man nur so lange sprechen, als der unter der Deckschicht liegende, hochplastische Tonhorizont noch von den großen jährlichen Feuchteschwankungen im Profil erfaßt wird, - also ein echter P-Horizont ist.

Auf Blatt Ansbach-Süd wurde nach diesen Gesichtspunkten vorläufig die oben gezeigte Einteilung getroffen:

Tonböden mit Deckschichtmächtigkeiten bis zu 15 cm werden noch zum Pelosol gestellt. Die Deckschicht mit Mächtigkeitsangabe wird in der Bodeneinheit als Kriterium der Subvarietät erwähnt.

Liegt die Deckschichtmächtigkeit zwischen 15 und 30 cm und hat sich in der Deckschicht ein B-Horizont entwickelt (was ein sehr häufig auftretender Fall ist), so wurde der Boden als Pelosol-Braunerde angesprochen.

Bei Deckschichtmächtigkeiten von über 30 cm sollte meines Erachtens der Begriff "Pelosol" nicht mehr verwendet werden. Der Bodentyp wird dann nach der Bodenentwicklung in der Deckschicht bestimmt. Der tonige Untergrund findet Erwähnung auf der Stufe der Subvarietät.

Die Grenzen 15 und 30 cm sind nicht ganz willkürlich gezogen. 15 cm ist etwa die maximale Pflugtiefe auf tonigen Böden, 20 - 30 cm sind eine besonders unter Wald häufig beobachtete Deckschichtmächtigkeit.

Die Übergangstypen-Bezeichnungen "Pelosol-Braunerde" und "Pelosol-Pseudogley" wurden bewußt nur für Schichtprofile verwendet, da auf reinen Tonsedimenten keine echte Braunerdeentwicklung abläuft und die für Pseudogleye typische Horizontfolge - Staunässeleiter/Staunässesohle - im allgemeinen nicht zur Ausbildung kommt.

Es bleiben noch die Übergangsformen zu den Grundwasserböden zu erwähnen. Unterliegt ein toniger Boden dem Grundwassereinfluß, so kommt seine Schrumpfungsfähigkeit nicht zur Wirkung. Die durch den Wechsel von Quellungen und Schrumpfung gekennzeichnete Dynamik der Tonböden kann nur unter

terristrischen Bedingungen voll zur Geltung kommen. Die Übergänge vom Pelosol zum Gley werden demnach zweckmäßig nach der Höhe des ständigen Grundwasserstandes definiert. In den Talauen der Keuper- und Liaslandschaft sind Gleye mit toniger Bodenart weit verbreitet. Liegt der G_r-Horizont tiefer als 1 m oder handelt es sich um flach sitzendes, zeitweilig verschwindendes Grundwasser, so erscheint die Bezeichnung "Gley-Pelosol" gerechtfertigt. Bei G_r-Horizonten höher als 40 cm u. Fl. sollte dagegen die Bezeichnung "Pelosol" nicht mehr verwendet werden. Der besonderen Dynamik schwerer Tonböden in den Flußauen mit stärkeren Grundwasserschwankungen und periodischer Überflutung wird die Bezeichnung "Pelosol-Auenboden" am besten gerecht.

Literatur

Brunnacker, K.: Erläuterungen zur Bodenkarte von Bayern 1 : 25 000 Blatt Nr. 6227 Iphofen. - München 1959

Diez, T.: Entwicklung und Eigenschaften von Böden aus tonigen Substraten. - Diss.Bonn.1959

Laatsch, W.: Dynamik der mitteleuropäischen Mineralböden. - Dresden und Leipzig 1957

Mückenhausen, E.: Entstehung, Eigenschaften und Systematik der Böden der Bundesrepublik Deutschland. - Frankfurt 1962

Müller, S.: Grundzüge der Bodenbildung im württembergischen Keuperbergland. - Mitt.d.Vereins für forstl. Stand-Ortskde. u. Forstpflanzenzüchtg., Nr. 11, Stuttgart 1961

Stremme, H.: Die Böden Deutschlands. - Handbuch d. Bodenl. v. E. Blanck III, Berlin 1930

Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft Bd. 1 S. 93-100. 1963

ÜBER DIE SCHWEREN WEINBERGBÖDEN IN FRANKEN

O. Wittmann[x)]

Der fränkische Weinbau ist auf Böden aus sehr verschiedenen Ausgangsmaterialien verbreitet. Im Aschaffenburger Raum stockt die Rebe auf leichten, kalkarmen, stark schiefergrusigen Böden aus metamorphen Sedimenten. Zwischen Spessart und Odenwald findet sich ein zerstreuter Weinbau mit einzelnen Schwerpunkten auf den meist sandigen Böden aus dem Hangschutt, der die Buntsandsteinhänge allgemein überzieht. Im zentralen fränkischen Maingebiet bilden der Muschelkalk und der Lettenkeuper die Grundlage des Rebbaues. Am westlichen Abfall des Steigerwaldes schließlich sind es die Schiefertone des Gipskeuper, aus denen sich die Weinbergböden entwickelt haben. An einzelnen Stellen entlang des Maines sind auch noch Flug- und Terrassensande, sowie Löß in geringem Maße an den weinbaulich genutzten Böden beteiligt.

Der Weinbau an steileren Hängen ist in Franken überwiegend. Unter Rebkultur wird die Bodenerosion hier besonders wirksam und verursacht in Verbindung mit tiefer Rigolarbeit, daß das mehr oder weniger angewitterte geologische Substrat im Rigolhorizont einen vorherrschenden Einfluß behält. In Weinbergen finden sich daher schwere Böden mit über 40 % Rohtonanteil im Rigolhorizont nur bei Ausgangsmaterialien, die an sich sehr tonhaltig sind und dann wiederum nur unter gewissen Bedingungen der Exposition und Inklination. Von den eingangs aufgezählten Substraten sind die Schiefertone des Letten- und Gipskeuper sowie stärker aufbereiteter Solifluktionsschutt aus Muschelkalk zur Bildung schwerer Böden geeignet. Erwähnt seien auch noch die Röt-Tone aus dem Oberen Buntsandstein. Auf sie soll jedoch nicht näher eingegangen werden.

x) Bayer. Geol. Landesamt, München 22, Prinzregentenstraße 28

Übersicht 1

Beschaffenheit und Zusammensetzung des Muschelkalk-Solifluktionsschuttes und der daraus entstandenen Weinbergböden in Franken

Geologische Abteilung	Verwitterbarkeit der Kalkgesteine	Steingehalt im Solifluktionsschutt	Mittlere Mächtigkeit des Solifluktionsschuttes	Mergelform des Solifluktionsschuttes	häufigste Bodenart der daraus entstandenen Weinbergböden	KALKGEHALT %		ROHTONGEHALT < 0,002 mm Ø %	
						im Rigolhorizont	im Mergel	im Rigolhorizont	im Mergel
Unterer Muschelkalk	schwer	hoch	< 100 cm, stellenweise < 20 cm	Kalkmergel[1] (vorherrschend)	schluffiger Lehm bis schluffiger schwach toniger Lehm	20-55	50-85	20-40	10-25
				Lehmmergel			40-50		25-35
Mittlerer Muschelkalk	leicht	gering	> 100 cm	Kalkmergel	schluffiger Lehm bis schluffiger schwach toniger Lehm	20-45	50-85	20-40	10-25
Oberer Muschelkalk	mittel bis schwer	gering bis hoch[2]		Lehmmergel (vorherrschend)	schwach toniger Lehm bis toniger Lehm	10-30	25-50	30-50	30-40
				Tonmergel	toniger Lehm bis stark toniger Lehm		20-45		35-50
				lehmiger Kalkmergel	schluffiger schwach toniger Lehm	20-40	50-70	25-40	20-30

1) stellenweise auch reiner Frostschutt ohne mergelige Verwitterung
2) im Bereich des Unterhanges und am Hangfuß meist gering

Im Muschelkalkbereich überzieht Solifluktionsschutt fast alle Weinberghänge. Die Übersicht 1 gibt die Beschaffenheit der Solifluktionsdecke aufgegliedert wieder. Der Solifluktionsschutt aus Unterem und Mittlerem Muschelkalk ist fast ausschließlich zu Kalkmergel verwittert, während im Bereich des Oberen Muschelkalk besonders Lehm- und Tonmergel aber auch Kalkmergel auftreten. Die Lehm- und noch mehr die Tonmergel haben geringeren Kalkgehalt aber höheren Rohtonanteil. Das erklärt, weshalb aus tonmergelig verwittertem Material auch die schwersten Böden aus Muschelkalk entstehen. Eine gewisse Abhängigkeit von der Exposition besteht dabei insofern, als in steileren Lagen die Tonmergel und ihre schweren Böden sich bevorzugt in Nordwest- bis Nordostexposition finden. Die Durchfeuchtung und damit auch die Kalkauswaschung ist hier begünstigt.

Aus der Übersicht 1 gehen außerdem die bekannten Beziehungen zwischen Kalkabfuhr und Anreicherung der nichtkarbonatischen Lösungsrückstände und damit des Tonanteils hervor. Diese Beziehungen sind einmal durch den Vergleich der verschiedenen Mergelformen zu erkennen, zum anderen ergeben sie sich aus den Differenzen im Kalkgehalt der Rigolhorizonte zu dem der entsprechenden Untergrundmaterialien.

Die Schiefertone des Letten- und Gipskeuper sind äußerlich ziemlich ähnlich. Unter natürlichen Bedingungen stark aufgeweichtes Material des Untergrundes kann über 60 % Rohton aufweisen, wobei unter Rohton hier der nicht an die Schieferung gebundene Rohtonanteil verstanden wird. Wichtige Unterschiede bestehen jedoch im Kalkgehalt. Der Schieferton des Lettenkeuper enthält in der Regel weniger als 10 % kohlensaueren Kalk, nicht selten ist er kalkfrei. Hingegen besteht der unverwitterte Schieferton aus den Myophorien- und Estherienschichten des Gipskeuper zu 20 bis 35 % aus dolomitischem Kalk. Der Dolomitanteil bedingt wahrscheinlich die schwerere Verwitterbarkeit dieses Schiefertones im Vergleich zu der des Lettenkeupertones. Die Schieferaggregate des Gipskeuper halten aufweichender Durchfeuchtung länger stand.

Böden mit 45 bis 55 % Rohton und geringem Schiefertongrusanteil, also stark tonige Lehme bis lehmige Tone finden sich bei beiden Substraten unter weinbaulicher Nutzung vorwiegend auf ebenen bis mäßig geneigten Flächen. Geringer Hangnässe- oder Staunässeneinfluß wirkt infolge aufweichender Auflösung des schieferigen Anteils stark erhöhend auf den Rohtongehalt. Dabei ist es nicht notwendig, daß Kalk in nennenswertem Maße ab-

geführt wird. Im Gipskeuper begünstigen schwer verwitterbare Dolomitbänke, die in geringer Tiefe anstehen, das Auftreten solch leichter Staunässe.

Allgemein zeigte sich auch im Letten- und Gipskeuper, daß in steiler Nordwest- bis Nordostexposition die Böden stärker entkalkt und verwittert sind als in Südlage, wo sie ein hoher Anteil an Schiefertongrus im Rigolhorizont meist leichter erscheinen läßt.

Die Rebe auf schweren Böden: Der bekannte Einfluß des Bodens auf die Weinqualität wirkt sich bei schweren Böden günstig aus. Im allgemeinen gedeihen kräftige, manchmal sogar wuchtige, körperreiche Weine auf ihnen. Wenn diese Eigenschaften sich mit denen decken, die den Frankenwein berühmt machen, so deswegen, weil die Hauptmasse der fränkischen Weine auf schweren Böden wächst. Die Weine aus dem Gipskeuper sind dabei als die körperreichsten zu charakterisieren. Im Mostertrag liegen sie und die auf Lettenkeuper gewachsenen in Franken an der Spitze, wenn man vom Löß absieht.

Der Ertrag und die Wüchsigkeit des Stockes - hingegen nicht unbedingt die Qualität des Weines - stehen in engem Zusammenhang mit der Wasserversorgung. Die Erfahrung lehrt, daß mittel- und tiefgründige tonige Lehm- und lehmige Tonböden aus Gips- oder Lettenkeupermaterial sowie tiefgründige Böden aus Muschelkalk bei normalen Niederschlägen (500-600 mm jährlich) dem Rebstock ausreichend Wasser zur Verfügung stellen können. Dabei treten häufig stark wechselnde Unterschiede in der Wasserversorgung innerhalb einer Weinlage auf. Sie werden hauptsächlich bedingt durch:

1. die Gründigkeit und den Steingehalt des Rigolhorizontes,
2. den Schiefergrusanteil im Rigolhorizont bei Böden aus Gips- und Lettenkeuper (Rohböden sind ziemlich trocken),
3. den Verwitterungszustand des Untergrundes und
4. durch Inklination und Exposition der Weinlage.

Die richtige Beurteilung des Wasserhaushaltes schwerer Böden stößt auf die bekannten Schwierigkeiten. Wir versuchten deshalb die Pflanzen selbst dafür heranzuziehen. Bekanntlich steht ihre Hydratur in deutlicher Beziehung zum Bodenwassergehalt. Versuche, die Zellsaftkonzentration zur Beurteilung der momentanen Wasserversorgung einer Profilreihe zu verwenden, wurden von uns angestellt. Die Messungen erfolgten mit einem Zeiss-Refraktometer ähn-

lich der Methode, wie sie von KREEB [1] für Bewässerungskulturen ausgearbeitet wurde. Die Rebe selbst eignet sich allerdings als Testpflanze weniger, hingegen haben wir gute Ergebnisse mit der Luzerne erzielt. Ihr Wurzelsystem ist ähnlich ausgebildet wie das der Rebe und sie wird zur Zwischennutzung in Weinbergen häufig angebaut.

Die Abbildung 1 zeigt einen Querschnitt durch einen Teil der Abtswinder Lage Altenberg am westlichen Steigerwaldrand.

Das Ausgangsmaterial der Böden sind Schiefertone der Myophorienschichten des Unteren Gipskeuper. Die Hochfläche wird von der Corbula-Acrodus-Bank abgeschlossen. Am Hangfuß liegen tiefgründige, unter dem Rigolhorizont schwach verdichtete Akkumulationen. Den Mittelhang überziehen mittelgründige Böden mit einem lehmig-tonigen Rigolhorizont von 70 bis 80 cm Mächtigkeit. Den Oberhang, die Hangschulter und zum Teil die Hochfläche nehmen flachgründige, stärker schiefergrusige Böden ein, mit einem Rigolhorizont, der im Durchschnitt nur 40 cm mächtig ist. An einzelnen Stellen stehen direkt unter dem Rigolhorizont unverwitterte, sehr feste Schiefertone an, die hier die Corbula-Bank vertreten. In einer leichten Einmuldung ist der Boden unter dem Einfluß größerer Durchfeuchtung bei zugleich geringer Erosion sowohl im Rigolhorizont als auch im Untergrund stärker verwittert und schwach pseudovergleyt.

Die im Mai an Sproßteilen der Luzerne gemessenen Refraktometerwerte sind bei den tiefgründigen Akkumulationen niedrig, steigen im Bereich der mittelgründigen Böden an und erreichen an der südwestexponierten Hangschulter zunächst ein Maximum. Niedrige Refraktometerwerte sind dabei der Ausdruck einer günstigen, höhere der einer weniger günstigen Wasserversorgung zur Zeit der Messung. Auf der Hochfläche sinken die Werte wieder, im Bereich der schwach pseudovergleyten Muldenlage sind sie relativ niedrig um an der westnordwestlichen Hangschulter mit flachgründigen Böden auf schwer durchwurzelbarem Untergrund ein Maximum zu erreichen.

Am besten mit Wasser versorgt sind demnach die tiefgründigen lehmig-tonigen Akkumulationen, vielleicht auch durch den Anschluß an das im

1) Kreeb, Karl Heinz: Die Bedeutung der Hydratur für die Kontrolle der Wasserversorgung bei Kulturpflanzen, Habilitation Hohenheim, 1958

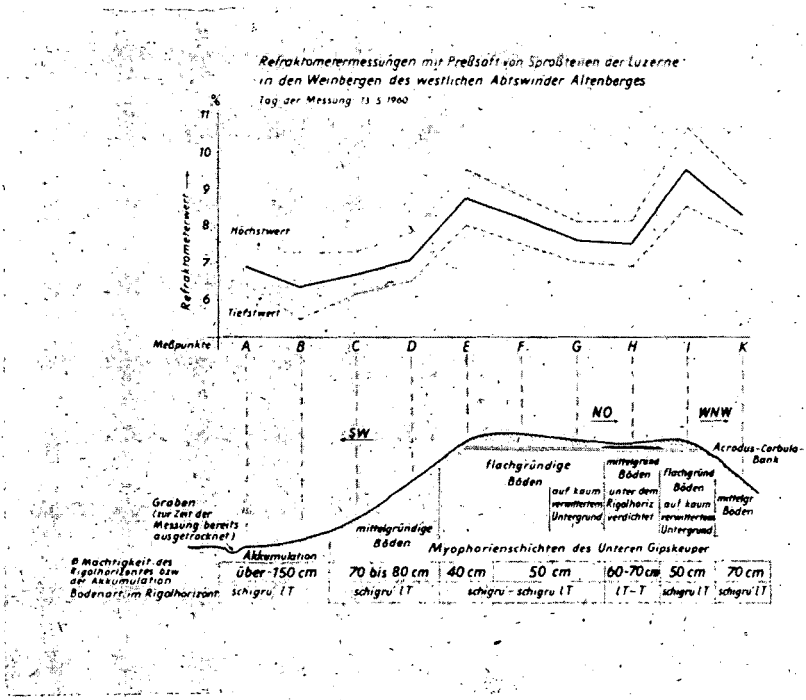
Sommer absinkende Grundwasser im Tal. Am schlechtesten versorgt sind die flachgründigen Böden der Hangschultern. Nach Erfahrungen und Beobachtungen, die bei der Weinberg-Bodenkartierung gemacht wurden, sind Standorte wie E, F, J und auch G für den Rebbau nicht genügend mit Wasser versorgt. Ihre Refraktometerwerte liegen im Beispiel meist über der 8 % - Linie.

Die Ergebnisse aus den Refraktometermessungen finden ihre Bestätigung in Messungen des Trieblängenzuwachses von Wein. Die Länge des Jahrestriebes ist bei vergleichbarer Stockerziehung und auf gut mit Nährstoffen versorgten Böden eine Funktion des Wasserhaushaltes. Bei dreijährigen Müller-Thurgau-Pfropfreben auf akkumulierten Hangfußböden aus Gipskeuper betrug die Trieblänge bis 300 cm, während sie auf mittelgründigen Böden am Hang mit 140 bis 160 cm nur halb so groß war. Auf flachgründigen, sehr stark schiefergrusigen Rohböden am Steilhang waren nur 60 bis 90 cm zugewachsen.

Die Durchlüftung der schweren Weinbergböden aus Muschelkalk und der schiefergrushaltigen Böden aus Letten- und Gipskeuper ist normalerweise ausreichend. Stärkere Störungen können bei leicht staunassen Böden aus Letten- und Gipskeuper in flacher Lage und an Stellen mit quellender Hangnässe im Muschelkalk auftreten. Die Reben reagieren darauf vielfach mit Chlorose. Weil quellende Hangnässe im Muschelkalk nur selten vorkommt, ist dort erscheinende Chlorose bei Reben fast ausschließlich auf den hohen Kalkgehalt zurückzuführen. Im Gipskeuper hingegen kann sich bei geringem Schiefergrusanteil im Rigolhorizont eine zeitweise Chlorose infolge mangelhafter Durchlüftung schon einstellen, wenn im Frühjahr der Weinberg zu zeitig betreten und der noch nicht abgetrocknete Boden oberflächlich verdichtet wird. Diese Chlorose verschwindet im Frühsommer mit dem Austrocknen der Böden wieder. Auffallend ist, daß derartige Erscheinungen im Muschelkalk kaum bekannt sind, wenngleich die schweren Böden aus Muschelkalk sowohl im feuchten wie im trockenen Zustand bei geringerem Rohtonanteil größere Kohärenz zeigen. Eine Erklärung könnte in der besseren Wasserdurchlässigkeit des Untergrundes liegen. Die günstigste Möglichkeit, Chloroseschäden der verschiedensten Ursachen zu vermeiden, liegt in der sachgemäßen Auswahl der richtigen Unterlagen bei Pfropfreben.

Zum Schluß noch einige Gedanken zur Bearbeitbarkeit der Böden. Bei der Bearbeitung schwerer Böden spielt der Kalkgehalt eine wichtige Rolle. Bei schiefergrusarmen Böden aus Gipskeuper genügen bereits 2 bis 3 % Kalkanteil, um Schollen, die durch unzeitige Bearbeitung entstanden sind, nach mehrmaliger Befeuchtung und Abtrocknung von selbst zerfallen zu lassen. Die Böden aus Muschelkalk haben, wie schon erwähnt, trotz geringeren Rohtongehaltes eine stärkere Kohärenz, weil der Quarzanteil in der Schluff- und Rohtonfraktion bei ihnen geringer ist als bei den Böden aus Gips- und Lettenkeuper und weil häufig hochplastische Braunlehme Anteil haben. Nach Beobachtungen ist bei Böden aus Muschelkalk ein Kalkgehalt von mindestens 10 % notwendig, damit der erwünschte Zerfall von scholligen Bodenaggregaten wenigstens nach mehrmaligem Hacken eintritt. In sehr steilen Lagen wird eine grobschollige Beschaffenheit der Bodenoberfläche oft absichtlich herbeigeführt, um dem Bodenabtrag infolge von Starkniederschlägen zu begegnen. Selbst bei Kalkgehalten von 20 bis 30 % halten sich diese Schollen oft über die ganze Vegetationszeit hinweg.

Es war beabsichtigt mit den vorliegenden Ausführungen aus der Vielfalt der Probleme und der Untersuchungen einige Gedanken über die Entstehung, über die Ökologie und über die Eigenschaften der schweren Böden im fränkischen Weinbau herauszugreifen. Die Bedeutung der Bodenkunde und insbesondere der Bodenkartierung für den Weinbau mag dadurch betont werden.


Refraktometermessungen mit Preßsaft von Sprößteilen der Luzerne in den Weinbergen des westlichen Abtswinder Altenberges
Tag der Messung 13. 5. 1960
%
11
10
9
8
7
6
Refraktometerwert
Höchstwert
Tiefstwert
Meßpunkte
A
B
C
D
E
F
G
H
I
K
SW
NO
WNW
Graben (zur Zeit der Messung bereits ausgetrocknet)
Akkumulation
mittelgründige Böden
flachgründige Böden
mittelgrund Böden
auf kaum verwittertem Untergrund
unter dem Rigolhoriz verdichtet
flachgründ Böden
auf kaum verwittertem Untergrund
mittelgr Boden
Acrodus-Corbula-Bank
Myophorienschichten des Unteren Gipskeuper
Mächtigkeit des Rigolhorizontes bzw der Akkumulation
Bodenart im Rigolhorizont
über 150 cm
schigru lT
70 bis 80 cm
schigru lT
40 cm
50 cm
schigru - schigru lT
60-70 cm
lT-T
50 cm
schigru lT
70 cm
schigru lT

Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft Bd. 1 S. 101-109, 1963

ÜBER DEN WASSERHAUSHALT EINES AUENBODENS; PORENRAUMVERTEILUNG, DURCHLÄSSIGKEIT UND GRUNDWASSERBEWEGUNG IN EINEM ALLOCHTHONEN KALKAUENBODEN ÜBER EINEM TONAUENBODEN.

von B. Wohlrab [x)]

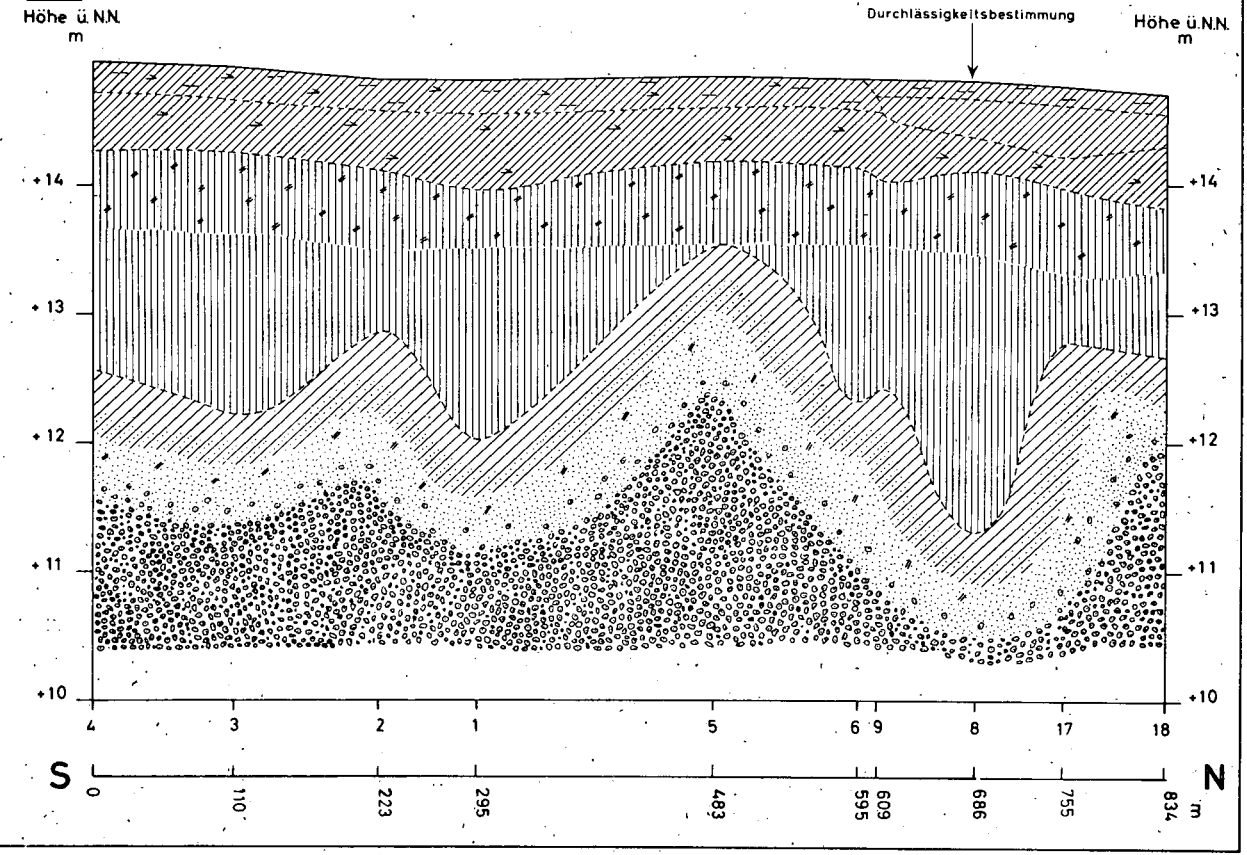
1. Veranlassung und Fragestellung der Untersuchungen

Das Gebiet, in dem die nachfolgend behandelten Untersuchungen durchgeführt wurden, liegt in der unteren Rheinniederung. Zur Beurteilung der Auswirkungen einer Grundwasserentnahme auf die Bodenfruchtbarkeit landwirtschaftlicher Nutzflächen waren die Bodenverhältnisse im Nachbargelände der Wassergewinnungsanlage aufgenommen worden. Aus den Bohr- und sonstigen Aufschlüssen ergab sich, wie der Längenschnitt (Abb. 1) erkennen läßt, folgender Bodenaufbau:

Dem A- bzw. Ap-Horizont aus schwach bis mäßig humosem meist kalkhaltigem Lehm folgt ein sepia- bis hellsepiabrauner M-Horizont aus kalkhaltigem Lehm (rd. 20 % Ton; 35 % Schluff), der von 40 - 50 cm Tiefe in einen nur schwachfleckigen ebenfalls noch kalkhaltigen MGo-Horizont ähnlicher Korngrößenzusammensetzung übergeht. Ziemlich gleichmäßig in der Tiefe von 60 - 80 cm nimmt der Tongehalt stark zu, bis auf rd. 50 % (Ton + Schluff nahezu 90 %). Freier Kalk ist in diesen Horizonten höchstens vereinzelt zu finden. Die Mächtigkeit der gesamten Deckschicht über dem Untergrund aus Sand und Kies wechselt sehr stark, etwa zwischen 1,5 und mehr als 3 m.

x) Landesanstalt für Bodennutzungsschutz Nordrhein-Westfalen, Bochum
Leiter: Reg. Dir. Dt. Kirste

ABB. 1


Höhe ü.N.N.
m
Durchlässigkeitsbestimmung
Höhe ü.N.N.
m
+14
+13
+12
+11
+10
4
3
2
1
5
6
9
8
17
18
S
N
0
110
223
295
483
595
609
686
755
834
m

Nach dem Profilbild und der Geländemorphologie - die Niederung liegt unter Deichschutz gegen die Hochwasser des Rheines - war dieser Boden als allochthone braune Kalkvega über Pelosol-Vega anzusprechen (1). Es ergab sich die Frage: Welchen Wasserhaushalt besitzen diese Böden und welchen Anteil hat das Grundwasser an ihm?

2. Durchgeführte Untersuchungen

Um dies zu klären, wurden folgende Untersuchungen durchgeführt:

2.1 Außer der Korngrößenanalyse (Pipettverfahren nach Koehn; 2) die Ermittlung des Porenvolumens und der Porenraumverteilung (pF-Bestimmungen;3),

2.2 ferner Permeabilitätsmessungen (Methode Kamenski; 4,5) in 100 ccm Stechringen und die Ermittlung der Durchlässigkeit nach dem Grundwasseraufstieg im Bohrloch (nach Hooghoudt-Ernst; 6) sowie

2.3 die Auswertung von Grundwasserstandsmessungen in Verbindung mit Rheinspiegelbeobachtungen.

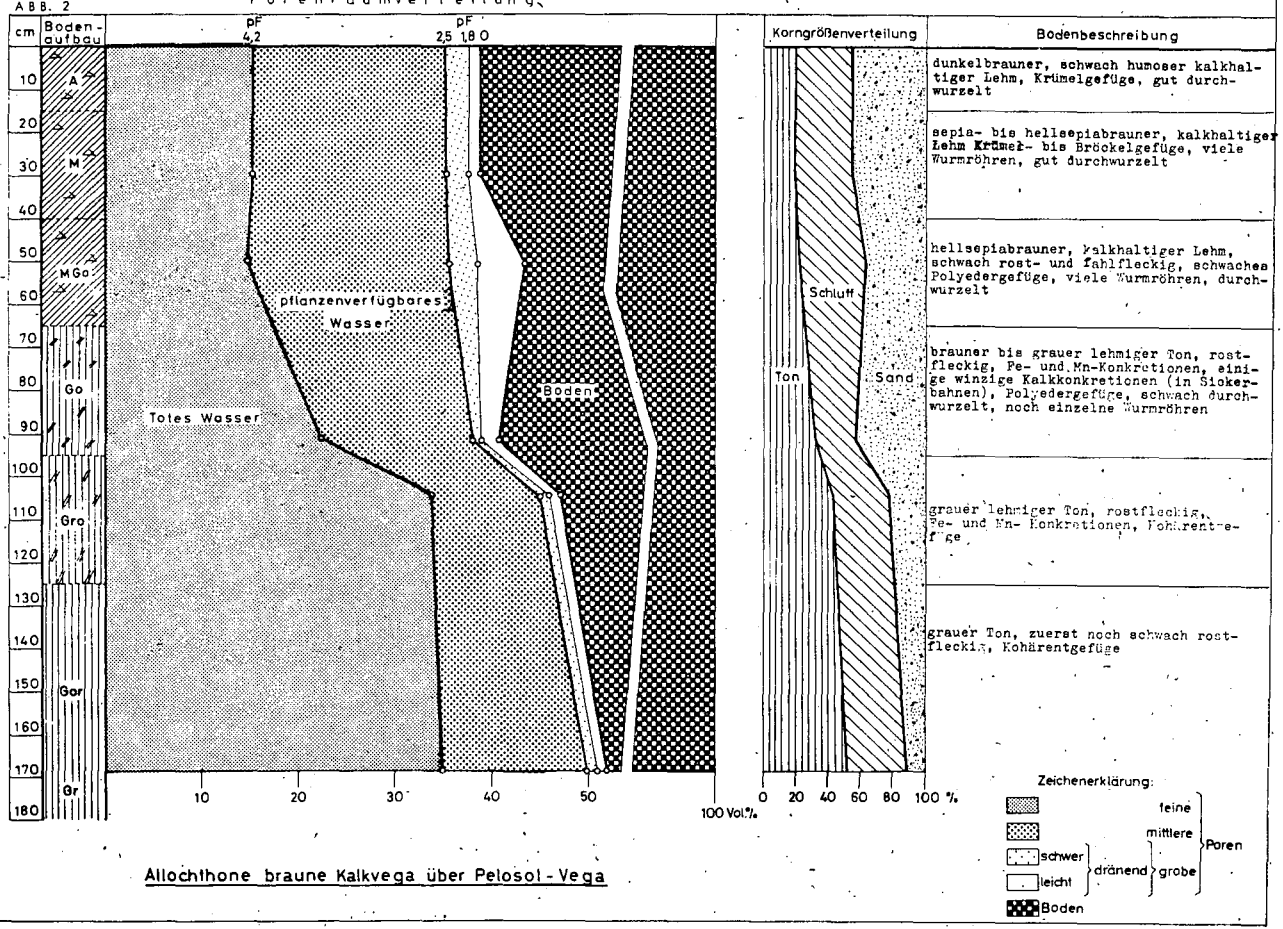
3. Ergebnisse und Schlußfolgerungen

3.1 Die Zweischichtigkeit des Bodenprofils wird nicht nur an der Korngrößenzusammensetzung sondern auch an der Porenraumverteilung sehr klar erkennbar (Abb. 2). Das Gesamtporenvolumen der oberen Horizonte (A, M, MGo, Go) ist mit rd. 40 % verhältnismäßig gering. Es nimmt analog zum Ton- + Schluffgehalt mit der Tiefe zu und erreicht im Gr-Horizont ca. 50 %. Der Raumanteil feiner Poren (pF $\geq$ 4,2) beträgt jedoch im Bereich der Kalkvega nur etwa 15 %, steigt aber überproportional zum Tongehalt bei den tiefen Horizonten der Pelosol-Vega ganz erheblich bis auf nahezu 36 % an. Daraus ergibt sich trotz des geringeren Gesamtporenvolumens ein wesentlich höherer Anteil der für den Pflanzenwuchs wichtigen mittleren und groben Poren in der Kalkvega im Vergleich zu der Pelosol-Vega. Die nutzbare Wasserkapazität ist mit rd. 20 % (= 20 mm je dm Bodenschicht) im M- und MGo-Horizont recht beachtlich und wesentlich größer als im Gro (11 %) und Gr (15 %). Ähnlich sind die Unterschiede beim groben Porenraum: M = 4 %, MGo = 8 %, Gro und Gr = 2 %.

3.2 Die Ergebnisse der Permeabilitätsmessungen [x)] im Labor bestätigen, wie die nachfolgende Tabelle zeigt, im wesentlichen die in der Korngrößen-

x) Die Stechringe wurden zu einer Zeit entnommen, als das Grundwasser so tief anstand, daß die Horizonte wasserfrei waren.

ABB. 2



Allochthone braune Kalkvega über Pelosol-Vega

und Porenraumverteilung deutlich gewordenen Unterschiede.

Horizont Tiefe (cm u. Flur)	Grobe Poren (%) insgesamt pF 0-2,5	leicht dränend pF 0-1,8	Permeabilität H k_f (cm/sec) (Mittelwert)	Beurteilung
M 15-40 (30) 3)	3,8	1,8	$5,8 \cdot 10^{-3}$	sehr stark durchlässig 1)
MGo 50-65 (50)	8,1	4,8	$6,7 \cdot 10^{-3}$	sehr stark durchlässig 1)
Go 65-95 (90)	2,5	1,9	$9,6 \cdot 10^{-4}$	stark durchlässig 1)
Gro 95-125 (105)	2,0	1,0	$1,3 \cdot 10^{-5}$	schwaches Stauvermögen 2)
Gor/Gr 125-175 + (170)	2,3	1,1	$2,0 \cdot 10^{-5}$	schwaches Stauvermögen 2)

1) Nach einer von der Nederlandschen Heidemaatschappij angewandten Abstufung
2) Nach einer Abstufung von Zakosek (9)
3) Tiefe der Probeentnahme

Nach diesen Permeabilitätswerten mußte man vermuten, daß das Grundwasser an der Basis der Pelosol-Vega gespannt ist und im Boden selbst gar nicht entsprechend aufsteigt. Unter solchen Bedingungen hätte sich aber eigentlich kein Grundwasserprofil entwickeln können. Zu einer Klärung dieses Widerspruchs führten die Messungen des Grundwasseraufstieges. Sie erfolgten in 1,8 m ; 2,2 m und 2,75 m tiefen Bohrlöchern an einer Stelle mit ca. 3,3 m mächtiger Lehm- und Tondeckschicht und zu einer Zeit, als das Grundwasser in dem nahegelegenen Beobachtungsrohr rd. 1,3 m unter Flur stand. Die ermittelten K-Werte lagen mit knapp $0,7 \cdot 10^{-4}$ bis $4,4 \cdot 10^{-4}$ cm/sec, zwar nicht sehr hoch, von einer Spannung des Grundwassers kann aber keine Rede sein. Offensichtlich dringt es in horizontal

verlaufenden Hohlraumsystemen von den Sand-Kies-Aufragungen (Abb. 1) her ein.

3.3 Besonderes Kennzeichen der Auenböden ist bekanntlich ihre mit den häufigen Bewegungen des Flußwasserspiegels zusammenhängende große Grundwasserschwankungsamplitude (1,7). Während des Beobachtungszeitraumes von 1959 bis 1961 lagen der höchste und tiefste gemessene Grundwasserstand im Untersuchungsgelände rd. 2 1/2 m auseinander. Vergleicht man die Ganglinie des Grundwassers mit der des Rheinwasserspiegels vom nächstgelegenen Pegel Emmerich, so läßt dessen unruhiger Verlauf (dünne Linie) in Abb. 3 keine deutliche Beziehung erkennen. Um die kurzfristigen Schwankungen, die sich zweifellos auf die Grundwasserstände des rd. 3 km vom Rhein entfernt liegenden Geländes nicht auswirken konnten, auszugleichen, erwies es sich als zweckmäßig, von den Stromwasserständen gleitende übergreifende Mittel zu bilden (8). Die nach diesen Werten konstruierte Linie läßt schon eher bei Berücksichtigung einer gewissen Verzögerung, mit der die Grundwasserstände reagieren, eine Beziehung erkennen. Neben diesem mehr subjektiven Eindruck des visuellen Vergleiches der Ganglinien ergab sich zwischen den gleitenden übergreifenden Mitteln des Rheinpegels und den Grundwasserständen (mit ca. 12 Tagen Verzögerung) bei einem Korrelationsfaktor von 0,68 folgende Beziehung: $y = 12,48 + 0,22 \cdot x$ (y = Grundwasserstände, x = Rheinwasserstände).

3.4 Zusammenfassend kann also festgestellt werden, daß der obere als allochthone braune Kalkvega anzusprechende 60 - 80 cm mächtige Profilbereich dank der hohen Basensättigung, des Gehaltes an freiem Kalk und der damit im Zusammenhang stehenden günstigen Gefügeform eine recht gute NK besitzt. Der grobe Porenraum ist zwar nicht sehr groß, aber doch hinsichtlich der Wasserpermeabilität ausreichend wirksam. Pflanzenbaulich sind dies nahezu ideale Standorteigenschaften.

Im unteren, bodentypologisch als Pelosol-Vega zu bezeichnenden Profilabschnitt nimmt der für den Pflanzenwuchs wichtige Porenraum infolge des hohen Ton- und Schluffgehaltes, des zähen Kohärentgefüges und des darauf zurückzuführenden außerordentlich großen Totwasseranteiles beträchtlich ab. Trotz dieser ungünstigen Porenraumverteilung und der schlechten vertikalen Wasserpermeabilität steht dieses Substrat infolge seitlichen Eindringens unter zeitweiligem deutlichem Grundwassereinfluß. Damit ist gleichzeitig nachgewiesen, daß aus dem Grundwasser eine zusätzliche Wassernachliefe-

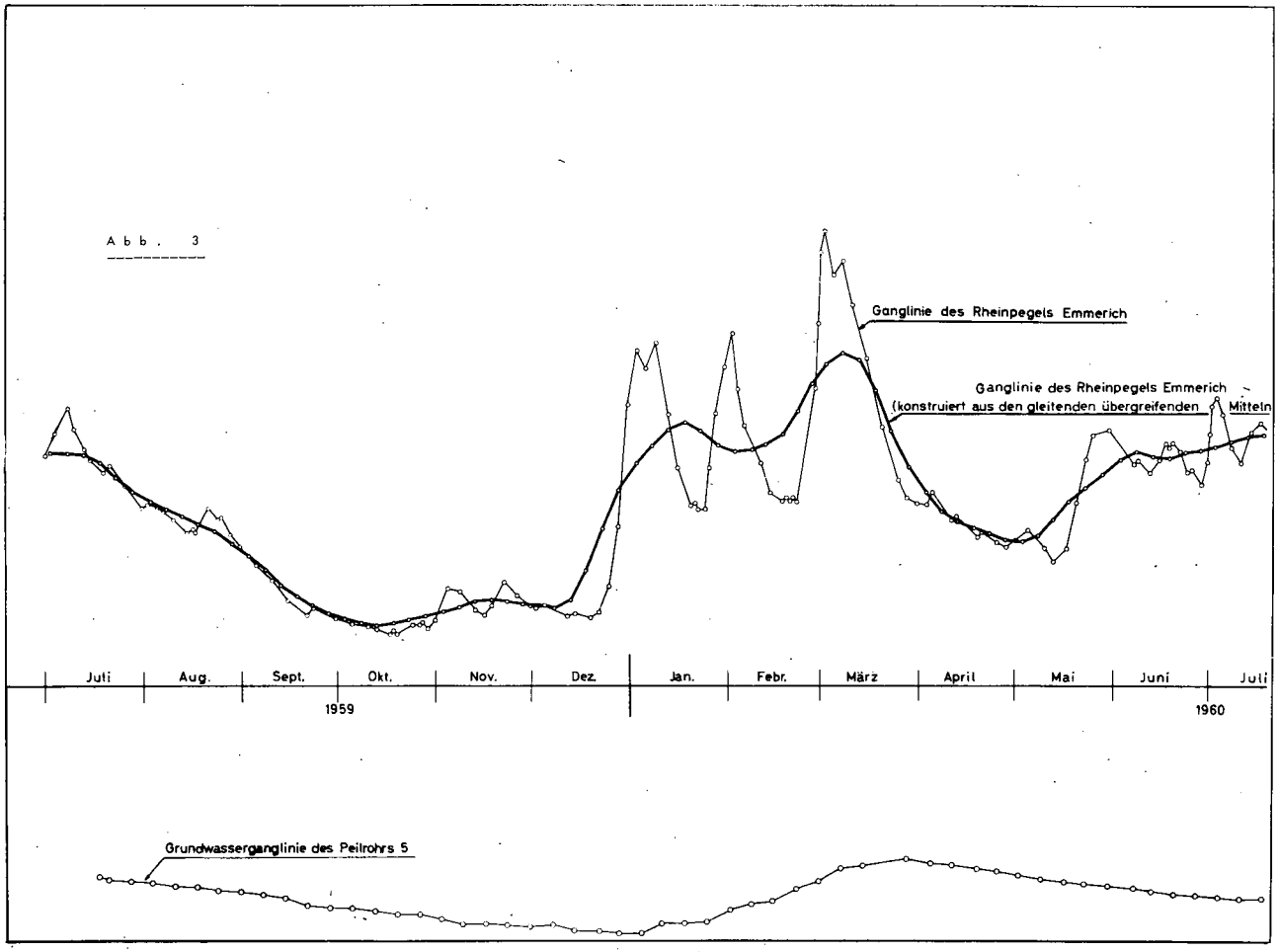


Abb. 3
Ganglinie des Rheinpegels Emmerich
Ganglinie des Rheinpegels Emmerich
(konstruiert aus den gleitenden übergreifenden Mitteln
Juli
Aug.
Sept.
Okt.
Nov.
Dez.
Jan.
Febr.
März
April
Mai
Juni
Juli
1959
1960
Grundwasserganglinie des Peilrohrs 5

rung in den Wurzelraum erfolgt. Diese Wassernachlieferung beschränkt sich jedoch bei der flacheren Deckschicht auf mittlere und hohe Grundwasserstände. Bei Niedrigwasserständen werden nur die über 3 m mächtigen Auenbodendecken noch aus dem Grundwasser gespeist. Ob aber aus dieser Tiefe ein beachtlicher kapillarer Aufstieg erfolgt, der bis in den Wurzelraum heraufreicht und solche Standorte in der Wasserversorgung der Kulturen günstiger stellt als die flacheren Auenbodendecken, ist unter den gegebenen bodenphysikalischen Verhältnissen - nämlich der geringen vertikalen Wasserpermeabilität - zweifelhaft.

Literaturangaben

1. MÜCKENHAUSEN, E.: Entstehung, Eigenschaften und Systematik der Böden der Bundesrepublik Deutschland, DLG-Verlag, Frankfurt/M 1962

2. KNICKMANN, E.: Methodenbuch, Bd. I, die Untersuchung von Böden, Radebeul und Berlin, 1955

3. SCHACHTSCHABEL, P. und HARTGE, K.: Die Messungen der Bodenstruktur durch Bestimmung der pF-Kurve und der Strukturstabilität; 12 Sonderheft zur Zeitschr., "Landwirtschaftliche Forschung" 1959, S. 30 - 36

4. LOMTADSE, D.: Bodenphysikalisches Praktikum, Berlin 1955

5. HARTGE, K.: Die Messung der Wasserpermeabilität an Stechzylinderproben; Zeitschrift für Kulturtechnik; 2. Jg. (1961), S. 104-114

6. WOLKEWITZ, H.: Erfahrungen mit der Bohrlochmethode nach Hooghoudt-Ernst zur Feststellung der Wasserdurchlässigkeit in Grundwasserböden; Der Kulturtechniker 47. (1959) Heft Sept./Okt. Seite 146 - 167

7. WOHLRAB u. BOHN: Wechselbeziehungen zwischen Fluß- und Grundwasserständen am Niederrhein; Die Wasserwirtschaft (1956/57) 47. Jg. S. 53-59

8. HAHN, A.: Statistische Verfahren der Gewässerkunde; Besondere Mitteilungen zum Deutschen Gewässerkundlichen Jahrbuch Nr. 8

9. ZAKOSEK, H.: Zur Beurteilung von Pseudogleyen, Zschr. f. Pflanzenern., Düng. und Bodenkd. 65. Bd. 27 - 31

Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft Bd. 1 S. 111-120, 1963

ÜBER DIE ZUSAMMENSETZUNG, DIE PHYSIKALISCHEN EIGENSCHAFTEN UND DIE MELIORATION EINIGER SCHWERER, SCHWARZERDEÄHNLICHER AUBÖDEN (SMONITZA) AUS NIEDER- UND OBERÖSTERREICH.

von F. Blümel und M. Sedlacek

In Nieder- und Oberösterreich werden schon seit geraumer Zeit Entwässerungsmaßnahmen in schweren Böden der Beckenlandschaften durchgeführt. Immer wieder hat man sich bemüht, den ungünstigen Wasserhaushalt dieser Böden zu regeln. Man hat wohl zum Teil den zu hohen Grundwasserspiegel abgesenkt, konnte aber den anormalen Wasserhaushalt der oberen Bodenhorizonte vielfach nicht befriedigend verbessern. Durch eine Reihe von Untersuchungen sollten nun die Ursachen für das eigenartige Verhalten dieser Böden in bezug auf ihre Wasserführung bzw. -haltung geklärt werden. Es lag zwangsläufig die Vermutung nahe, daß die physikalischen Bodeneigenschaften und besonders das Bodengefüge für die ungünstigen Wasserverhältnisse verantwortlich sind. Durch die Eigenart des Bodengefüges wird jedoch nicht nur der Wasserhaushalt sondern auch die Bodenbearbeitung nachteilig beeinflußt und die Erdverwehung begünstigt.

Die angeführten Böden kommen im Osten Österreichs (Burgenland, Niederösterreich, Oberösterreich) verhältnismäßig häufig vor und gehören vorwiegend dem Typus "schwarzerdeähnlicher Auboden" bzw. "Smonitza" an.

Zur Kennzeichnung wurden 3 Hauptgebiete untersucht: das östl. Tullnerfeld, die Feuchte Ebene des südlichen Wiener Beckens und das Eferdinger Becken (Abb. 1).

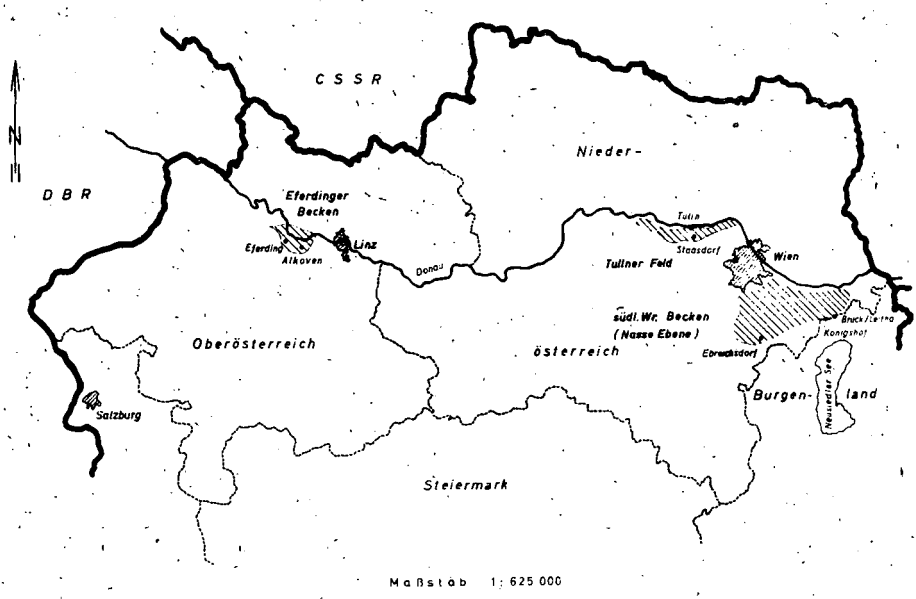


Abb. 1

Als Tullnerfeld bezeichnen die Geographen die rechtsufrige Stromebene der Donau zwischen Krems und Greifenstein.

Das Tullnerfeld stellt eine Niederterrasse dar, die sich ca. 3 - 4 m über dem Mittelwasser der Donau erhebt. Die zahlreichen Schotter und Sandgruben gewähren einen guten Einblick in den Schichtaufbau der Terrasse, der dem bekannten Schema: Kies und Schotter an der Basis - Sand - Aulehm folgt.

Der vermutlich würmeiszeitliche Kies und Schotter (meist Quarz) ist ca. 5 - 6 m mächtig, unverkittet und besitzt ein schwach ausgeprägtes lehmig-sandiges Zwischenmittel. Er ruht auf einem Sockel aus miozänem Schlier (im

östl. Tullnerfeld in ca. 9 - 10 m Tiefe). Wie aus Beobachtungen bei Bohrungen hervorgeht, ist die Mächtigkeit der darüberfolgenden Sandschichte größeren Schwankungen unterworfen. Der Aulehm - mit diesem unglücklich gewählten Namen werden Feinsedimente mit den vorherrschenden Korngrößenklassen Schluff und Ton bezeichnet - erreicht im östlichen Tullnerfeld eine durchschnittliche Mächtigkeit von 1 - 1.5 m.

In den Grobsedimenten, Kies, Schotter und Sand bewegt sich das zeitweilig hochstehende Grundwasser. Der Grundwasserstrom folgt im allgemeinen dem Lauf der Donau. Eine Einspeisung mit Grundwasser dürfte auch vom Wienerwald her erfolgen. Der dichte "Aulehm" hemmt die Versickerung der Niederschlags- und Hochwässer. Er hemmt aber auch, wenigstens im Bereich von Königstetten, den Aufstieg des Grundwassers. Eine der Hauptursachen der Vernässung im östlichen Tullnerfeld ist außer dem Tagwasserstau auf den Tonböden die ungenügende Abflußmöglichkeit der Oberflächenwässer infolge der geringen Geländeneigung.

Das typische, in verschiedenen Varianten immer wiederkehrende Profil der im östlichen Tullnerfeld vorhandenen Smonitza hat folgenden Aufbau: Der dunkelgraubraune A_1-Horizont (0 - 20 cm) besteht vorwiegend aus Ton und Schluff; er ist trotz der schweren Bodenart vielfach krümelig oder bröckelig; der darunterliegende A_2/g-Horizonte (20 - 60 cm) unterscheidet sich durch die sehr dichte Lagerung und die geringere Oxydation (dunkelgraue Farbe) vom A_1-Horizont. Der schwere Boden dieses Horizontes bricht in prismatische oder blockige, scharfrandige Gefügeelemente. Unter dem A_2/g-Horizont folgt ein heller gefärbter, rost- und graufleckiger G_o-Horizont, dessen Bodenart häufig leichter ist als jene der A-Horizonte. Dieser G_o-Horizont wird entweder von Sand oder jung- bzw. nacheiszeitlichem Schotter unterlagert.

Die untersuchten Böden zeigen größtenteils einen geringen bis mittleren Karbonatgehalt und eine schwach saure bis alkalische Reaktion. Der Humusanteil ist in den A_1- und A_2/g-Horizonten durchschnittlich hoch.

Die größten Flächen von schweren, schwarzerdeähnlichen Auböden befinden sich in der sogenannten "Feuchten Ebene" des südlichen Wiener Beckens. An ihrem Südrand enden gewaltige Schotterkegel, in denen ein starker, vielfach

verzweigter Grundwasserstrom auf tertiärem Tegel als tragende Schicht von Süden herkommend, nach Norden und Nordosten fließt. In der "Feuchten Ebene", wo die tertiären Schichten nahe an die Oberfläche reichen, tritt das Grundwasser entweder stellenweise aus oder beeinflußt zumindest den Wasserhaushalt der darüberliegenden Böden.

Ähnlich wie im Tullnerfeld gab es hier in vergangenen Jahrhunderten ausgedehnte Sumpfgebiete, die zum Teil auf natürliche Weise, teils durch künstliche Maßnahmen (Regulierungen, Dränungen) verlandeten. Während auf den Schotterkegeln der "trockenen Ebene" Rendsinen vorherrschen, entwickelten sich in der "feuchten Ebene" vorzugsweise schwarzerdeähnliche Auböden aus ehemaligen Anmooren.

Zur näheren Kennzeichnung wurde ein Boden dieses Typus aus dem ca. 500 ha großen Bundesgut Königshof, westlich von Bruck/Leitha, untersucht.

Das geologische Substrat dieser Böden bilden tertiäre Tegel, darüber folgen junge, vorwiegend tonige Flußablagerungen der Leitha und ihrer Nebenbäche. Die Vernässung wird durch Hang- und Grundwasser verursacht. Der Grundwasserspiegel ist zeitweise hoch und gespannt. Der dichte Ton staut überdies das Niederschlagswasser.

Der typische Profilaufbau der Böden vom Königshof ist jenem aus dem Tullnerfeld sehr ähnlich. Lediglich die tieferen Horizonte weisen Unterschiede auf.

Das dritte Hauptgebiet der untersuchten Böden liegt in Oberösterreich, im Eferdinger Becken, westlich von Linz.

Die Böden haben sich hier, ähnlich wie im Tullnerfeld, auf tonigen Aufschlämmungen der Niederterrasse der Donau entwickelt. Die Oberkante des Schotterkörpers der Niederterrasse liegt in etwa 7 - 8 m Tiefe. Darüber folgt unmittelbar der Terrassenlehm bzw. Terassenton. Der Grundwasserspiegel verläuft im Schotter in 10 - 12 m Tiefe. Die Böden der Niederterasse sind dem Einfluß der Donauhochwässer, aber auch jenem des Grundwassers entzogen.

Das Kennzeichnende und Gemeinsame der Morphologie der beschriebenen Böden, der dicht gelagerte, schwere, wasserstauende A_2/g-Horizont tritt auch bei diesen Böden typisch hervor. Die tonigen Horizonte - wir haben sie als C/g bezeichnet - reichen allerdings in den Eferdinger Böden weit tiefer als in den Böden des Tullnerfeldes.

Die physikalischen Eigenschaften, besonders das ungünstige Gefüge, sind sehr ähnlich jenen der Böden aus den beiden anderen Hauptgebieten.

Anders verhält es sich mit dem Humus- und Karbonatgehalt. Während im Eferdinger Becken die Karbonate fehlen, konnten in den Proben aus dem Tullnerfeld und dem südlichen Wiener Becken größtenteils ein geringer bis mittlerer Gehalt an Karbonaten nachgewiesen werden.

Der Humusanteil ist in den Böden von Alkoven geringer als in den übrigen untersuchten Proben.

Der Durchlässigkeitsbeiwert k aller beschriebenen Böden liegt in der Größenordnung von einigen mm/Tag, er ist also außerordentlich gering.

Wir haben nun besonders die Böden aus dem östlichen Tullnerfeld (Staasdorf) hinsichtlich ihrer ungünstigen physikalischen Verhältnisse näher analysiert und versucht, deren Ursache zu finden. Es war naheliegend, vorerst das Bodengefüge bzw. die Porenverteilung eingehender zu untersuchen. Der Anteil an großen Poren ($\phi > 0.03$ mm) ist bei allen Proben sehr gering und nimmt nach abwärts ab. Der A_2/g-Horizont tritt vielfach durch den hohen Anteil an feinsten Poren ($\phi < 0.003$ mm) hervor. (Abb. 2)

Die Textur-Struktur-Diagramme der übrigen untersuchten Bodenprofile veranschaulichen im allgemeinen die ungünstige Porenverteilung und das schlechte Gefüge der Böden, wobei gezeigt wird, daß diese Erscheinungen nicht immer mit einer Erhöhung des Feinstoffanteiles parallel laufen müssen.

Die Bestätigung der Ergebnisse der Porenanalyse konnte durch die Untersuchung einer Reihe von Dünnschliffen - die vorwiegend aus den Böden des Tullnerfeldes hergestellt wurden - erbracht werden. Das Gefüge aller

Textur-Struktur-Diagramm des Bodenprofiles Staasdorf

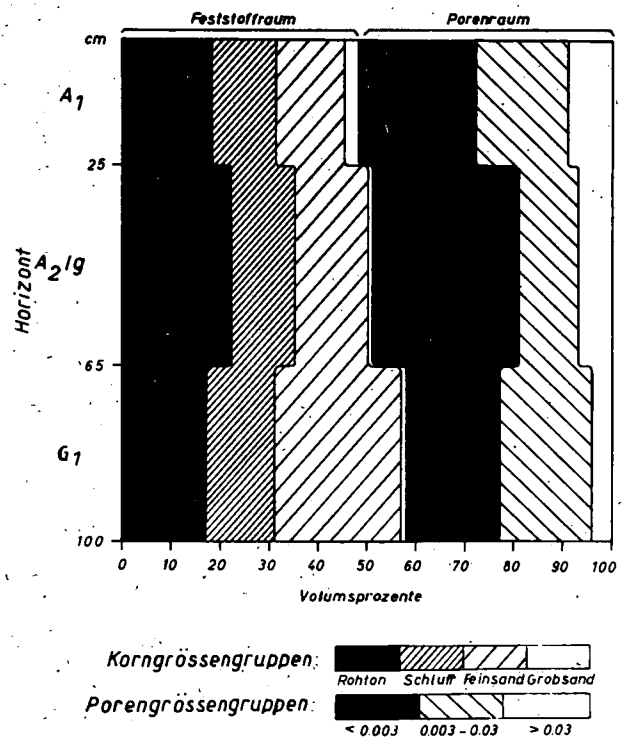


Abb. 2

Schliffe kann nach der Systematik von E. Frei dem bindigen Primitivgefüge zugeordnet werden. Die Hohlräume treten vor allem in Form von geradlinigen Sprungrissen auf, die scharfkantige Aggregate zur Ablösung bringen. Die gesamte Bodenmasse ist kompakt, dicht und dunkel gefärbt.

Diese Untersuchungen erbrachten den Beweis, daß die physikalischen Eigenschaften besonders für die Wasserbewegung und den Wasser- und Lufthaushalt ungünstig sind. Es waren daher als nächster Schritt die Ursachen für diese ungünstigen physikalischen Eigenschaften zu klären.

Da alle untersuchten Böden der 3 Hauptgebiete einen hohen Tongehalt aufwiesen, wurde dieser als erster Faktor in die Untersuchungen einbezogen. Die Bodenarten der wasserstauenden A_2/g-Horizonte der 3 Hauptgebiete wurden in das Bodendreieck (Abb. 3) von Tomnerup eingezeichnet. Der Schwer-

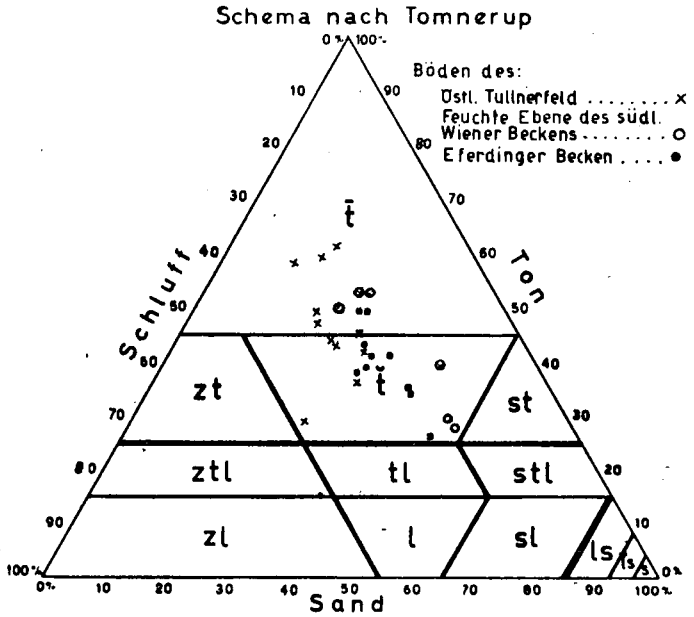


Abb. 3

punkt der Proben liegt an der Grenze des leichten und schweren Tones. Trotz des hohen Anteiles an Rohton kann dieser nicht die einzige Ursache für das dichte Gefüge und den nachteiligen Wasser- bzw. Lufthaushalt sein, da viele andere Böden (z.B. Rendsinen aus Gumpoldskirchen und Steppenschwarzerden aus Fuchsenbigl) mit einem ausgeglichenen Wasser-Lufthaushalt eine ähnliche Korngrößenzusammensetzung haben.

Im Zusammenhang mit dem Tongehalt sollten die Tonminerale festgestellt werden, da sich auch diese auf Gefüge und Wasserhaushalt auswirken können.

Die mineralogische Untersuchung der Tonfraktion einer Bodenprobe aus dem Tullnerfeld, welche nach 3 Methoden (DTA, Röntgen, Elektronenmikroskop) vom chem. Laboratorium der Bundesversuchs- und Forschungsanstalt Wien-Arsenal ausgeführt wurde, lieferte folgendes Ergebnis:

Das vorherrschende Tonmineral ist Illit bzw. Hydroglimmer. Daneben wurde auch Kaolinit nachgewiesen. Montmorillonit fehlt; weitere Gemengeteile sind Quarz ($<$ 5 %), Feldspat und Kalzit.

Die vom Labor in Petzenkirchen ermittelten Atterberg'schen Konsistenzgrenzen und Plastizitätszahlen sind ähnlich jenen von Illittonen.

Es ist daher anzunehmen, daß die starke Quellung und Schrumpfung und das hohe Wasserhaltevermögen dieser Böden nicht allein auf die Tonminerale zurückgeführt werden kann.

Da die physikalischen und mineralogischen Untersuchungen keine befriedigende Klärung der Ursachen für die ungünstigen Wasser- und Gefügeverhältnisse der schweren Smonitza-Böden aus den 3 Hauptgebieten ergaben, war es erforderlich, noch chemische Bestimmungen heranzuziehen.

Da sich der Humuskomplex auf den Wasserhaushalt und das Gefüge entscheidend auswirken kann und überdies eine Anmoorbildung in früheren Zeiten vorlag, wurde dieser in die näheren Untersuchungen mit einbezogen. Der Humusgehalt der Böden aus dem Tullnerfeld beträgt nach Rauterberg-Kremkus 2 - 5.6 Gew.%.

Der Humus wurde unter Leitung von Herrn Prof. Springer in der seinerzeitigen Bayer. Landesanstalt f. Pflanzenbau und Pflanzenschutz in München eingehend untersucht. Für diese Untersuchungen sind wir Herrn Prof. Springer zu besonderem Dank verpflichtet.

Während auf Grund dieser Bestimmungen die A_1-Horizonte Braunerde-Humusformen oder ähnliche Bildungen enthalten, weisen die Humusformen

der dichten und vernäßten A_2/g-Horizonte den Charakter des anmoorigen Typus in mehr oder weniger starker Ausprägung auf. Wenn auch diese Unterschiede vorhanden sind, so handelt es sich - wie aus den C/N-Werten ersichtlich ist - doch durchwegs um gut zersetzte wertvolle Humusformen mit meist sehr starker Bindung (Ton-Humus-Komplexe).

Die Höhe des Gesamthumusgehaltes und die Art der Humusform können daher für das beobachtete ungünstige Bodengefüge und den schlechten Wasserhaushalt kaum verantwortlich gemacht werden.

Zur Klärung des offenen Problems wurden ferner die Austauschkapazität und der Kationenbelag bestimmt. Diese Untersuchungen hat Kollege Dr. Schiller der Landw.-chem. Bundesversuchsanstalt Linz durchgeführt, wofür wir ihm bestens danken.

Die T ges-Werte lagen zwischen 25 und 54, die Torgan. Werte zwischen 13 und 33 mval/100 gr. Weit interessanter war jedoch die Bestimmung des Kationenbelages, der hohe Mengen an Mg-Ionen aufzeigt.

Auf Grund der hohen Mg-Werte[x)] und des Ca/Mg-Verhältnisses, welches in den untersuchten Böden 1:1, hingegen in Böden der humiden Klimagebiete auf kristallinem Ausgangsgestein 20:1 und in Lößböden 5 - 10:1 beträgt, kann vermutet werden, daß die abnormalen Gefüge- und Wasserverhältnisse der Böden zum größten Teil auf den dominierenden Einfluß des Mg-Ions zurückgeführt werden kann.

Zur Veränderung des Ca/Mg-Verhältnisses zu Gunsten des Ca wäre eine Kalkdüngung vorzuschlagen, wenn auch die günstige Wirkung derselben auf das Bodengefüge noch umstritten ist. Jedenfalls wurde die positive Wirkung des Scheideschlammes der Zuckerfabriken auf das Gefüge und die

x) siehe auch: Effect of liming on aggregation, noncapillary pore space, and permeability of a lateritic soil von Ghani, M.O., Hasan, K.A., and Khan, F.A. aus Soil Science 80 469-478 (1953).

Gefügestabilität in verschiedener Literatur[x] nachgewiesen. Auf Grund einer Mitteilung von Kollegen Schiller aus Linz wurden im Eferdinger Becken - einem der drei untersuchten Gebiete - gute, gefügeverbessernde Wirkungen durch Saturationsschlamm erreicht.

Inwieweit eine Phosphorsäuredüngung, die - wie manche Literatur nachweist - gefügeverbessernd wirken kann, wäre eventuell zu untersuchen. Synthetische Bodenverbesserungsmittel können derzeit aus wirtschaftlichen Gründen kaum herangezogen werden.

Wenn auch die Ergebnisse dieser Arbeiten gewisse Hinweise für die Melioration jener Böden geben, so sind wir doch überzeugt, daß noch weitere Forschungen zur Klärung des Problems erforderlich sind.

Unter Melioration der Böden verstehen wir allerdings nicht allein die Absenkung des zu hohen Grundwasserspiegels - diese ist im vorliegenden Fall schon größtenteils vollzogen - sondern die Verhinderung der Niederschlagswasservernässung, die Herabsetzung des zu hohen Wasseraufnahmevermögens des Bodens, die Gefügeverbesserung und die Verringerung der Neigung des Bodens zur Flugerdebildung. Will man eine tatsächliche Verbesserung der Produktionsbedingungen erreichen, ist eine solche umfassende Auffassung über die Melioration der Böden vielfach unerläßlich.

Diese Auffassung und die bisher vorliegenden Untersuchungsergebnisse fordern im gegebenen Fall neben der Absenkung des zu hohen Grundwasserspiegels auch eine Abänderung der physikalischen Eigenschaften der Böden. Nach den letzten Untersuchungen könnte diese Abänderung durch die Veränderung des Kationenbelages erfolgen.

x) Signification pratique de l'emploi de doses massives d'écume de sucrerie (et de l'emploi de quelques autres produits) pour l'amelioration de la structure du sol, v. De Leenheer et M. De Boodt aus: Proceedings of the International Symposium on soil structure, Gent 28 - 31 May 1958.

Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft Bd. 1 S. 121-127, 1963

PORENGRÖSSEN-VERTEILUNG IN EINER FEUCHTSCHWARZERDE-PARABRAUNERDE-REIHE AUS LÖSS

von W. Strautz[x)]

I. Einleitung

Kartierungen von Herrn Dr. RÖSCHMANN sowie eigene Untersuchungen im westlichen Teil der Hildesheimer Börde - einem Gebiet mit kontinentalem Klimaeinfluß - ergaben, daß die auf Löß wiederholt anzutreffende Bodentypenabfolge von der $CaCO_3$-haltigen Feuchtschwarzerde über die verbraunte, pseudovergleyte Schwarzerde zur Parabraunerde im wesentlichen durch die hydromorphologischen Gegebenheiten des Geländes bedingt ist.

Im folgenden sollen die Beziehungen der Porengrößenverteilung zur Bodentypenentwicklung an Hand von 6 Profilen der Feuchtschwarzerde-Parabraunerde-Reihe aufgezeigt werden.

II. Profilbeschreibung

Abb. 1 zeigt zur Verdeutlichung der Situation einen Profilschnitt durch den Meerberg bei Ingeln (top. Karte 1:25 000, Blatt Sarstedt).

Das Grundgestein bilden die flach nach W einfallenden Tonplattenkalke des Oberen Muschelkalkes (MO 2). Darüber liegen, hangabwärts an Mächtigkeit zunehmend, Kalksteinverwitterungslehm (BF), Geschiebelehm (DM) und Fließerde (FL). Die Lößdecke (LÖ) hat eine Mächtigkeit von 100 - 120 cm. In den Löß ist mit einer gestrichelten Linie die Tiefe der Entkalkung eingetragen.

Die nicht verbraunte $CaCO_3$-haltige Feuchtschwarzerde - hier als Schwarzerde-Hanggley bezeichnet - liegt am Hangfuß, der infolge Hangwasserzug langfristig, z.T. ständig vernäßt ist.

x) Braunschweig, vordem Hannover

Am flachen Unterhang liegt über einer stauenden Fließerde eine schwach verbrannte, pseudovergleyte Schwarzerde, die zum Oberhang hin in eine verbraunte, schwach pseudovergleyte Schwarzerde übergeht.

Auf der Kuppe ist über durchlässigem Untergrund - hier fehlt der Staukörper über dem Kalkgestein - eine Parabraunerde ausgebildet, die keine Staunässemerkmale aufweist. Zwischen der verbraunten, schwach pseudovergleyten Schwarzerde und der Parabraunerde ist die stark verbraunte Schwarzerde einzuordnen; sie ist in der Abb. 1 nicht verzeichnet.

Innerhalb der Profilreihe ist die Verbraunung der Schwarzerden umso stärker, je kürzer die Nässephase und je geringer die Hangwasserbewegung ist. Parallel dazu nimmt in den A-Horizonten der Gehalt an Ton, freien Metalloxyden und organischer Substanz zu, der $CaCO_3$-Gehalt ab. Erst die stark verbraunte, pseudovergleyte Schwarzerde, die eine fast regelmäßig auftretende sommerliche Trockenphase aufweist, läßt infolge Durchschlämmung eine Abnahme von Tonsubstanz und freien Metalloxyden im A-Horizont und deren Anreicherung in einem schwach ausgeprägten B_t-Horizont erkennen.

III. Porengrößenverteilung

1. Methodik

Die Bestimmung der Porengrößenverteilung erfolgte nach der Druckmethode von L. A. RICHARDS (1949) in der 1959 von SCHACHTSCHABEL und HARTGE beschriebenen Arbeitsweise. Das Gesamtporenvolumen wurde aus der Dichte des Bodens in ungestörter Lagerung (d_1) und der Dichte der Festsubstanz (d_2) errechnet.

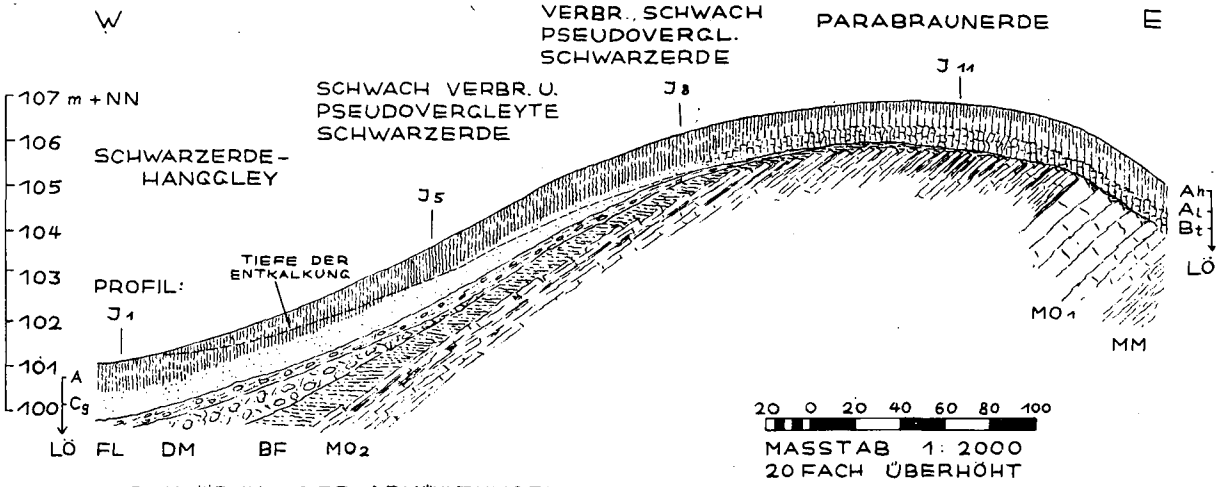
Bestimmt wurden die Porengrößenanteile der schnell dränenden groben Poren über 50 µ Durchmesser, der langsam dränenden groben Poren von 50 - 10 µ Durchmesser, der mittleren Poren von 10 - 0,2 µ und der feinen Poren unter 0,2 µ Durchmesser.

2. Ergebnisse

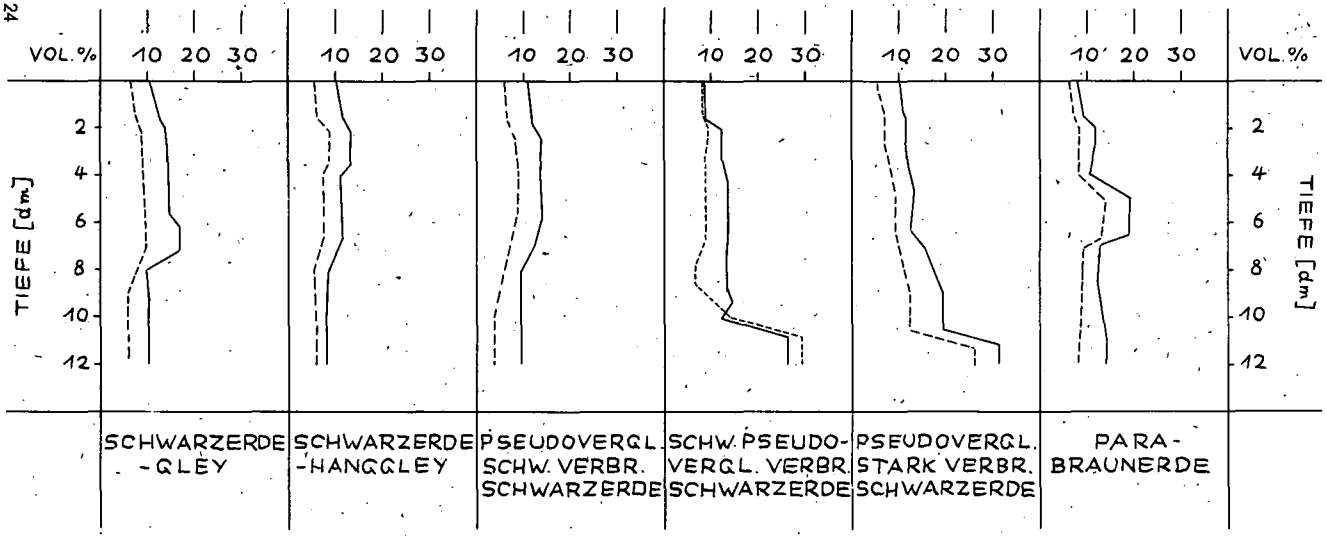
Abb. 2 zeigt die Verteilung der feinen Poren und ihre Beziehung zum Tonsubstanzvolumen in der Feuchtschwarzerde-Parabraunerde-Reihe an Hand der 6 ausgewählten Profilglieder. Die Reihe beginnt mit einem Schwarzerde-Gley und endet mit einer Parabraunerde. Wie der annähernd parallele Verlauf der

ABB. 1: PROFILREIHE JNGELN

SCHNITT DURCH DEN MEERBERG



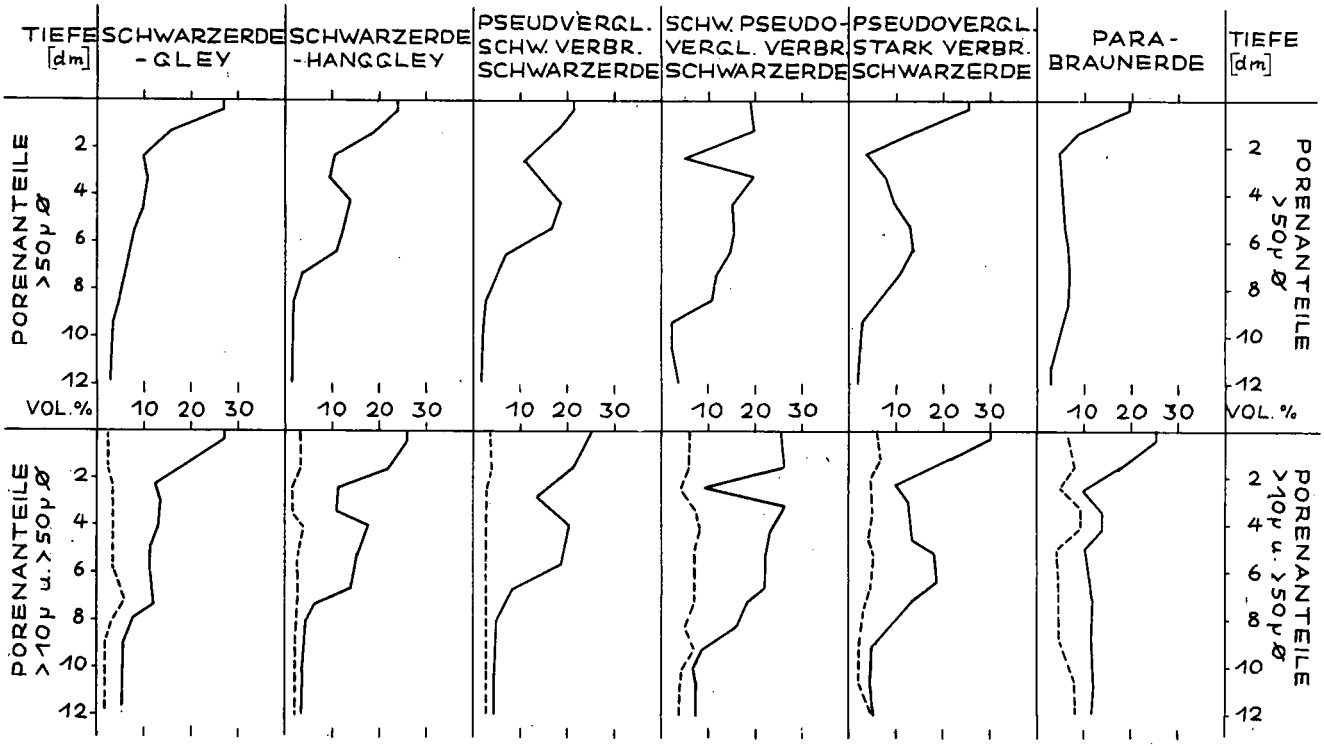
ERKLÄRUNG DER ABKÜRZUNGEN IM TEXT



BEZIEHUNGEN ZWISCHEN FEINEN POREN U. TON [VOL.%] IN EINER FEUCHTSCHWARZERDE - PARABRAUNERDE - REIHE

——— PORENVOLUMEN <0,2 µ ⌀ ------- TONSUBSTANZVOLUMEN [<2 µ]

ABB 2



VERTEILUNG DER GROBEN PORENIN EINER FEUCHTSCHWARZERDE - PARABRAUNERDE - REIHE

ABB. 3

Kurven zeigt, besteht eine enge Beziehung zwischen dem Volumen der Poren unter 0,2 µ und dem Tonsubstanzvolumen. Diese Beziehung ist durch einen Korrelationskoeffizienten von r = 0,98 ^{xxx} gekennzeichnet.

Mit zunehmender Tonneubildung in den A-Horizonten der Feuchtschwarzerden nimmt - wie die ersten drei Profile zeigen - auch der Anteil der feinen Poren gegenüber dem nicht verbraunten Cg-Horizont zu. Sobald der Unterboden verbraunt, nimmt auch dort der Anteil der feinen Poren zu, wie am Beispiel der verbraunten Schwarzerden gezeigt werden kann.

In der durchschlämmten Schwarzerde nehmen die feinen Poren entsprechend der Toneinschwemmung im Unterboden weiter zu und in den eluvierten A-Horizonten entsprechend ab. In den Parabraunerden findet sich das Feinporenmaximum naturgemäß im B_t-Horizont.

Die interessantesten Unterschiede innerhalb der Profilreihe weist die Verteilung der groben Poren auf (Abb. 3): In der oberen Reihe sind die Volumin der Poren über 50 µ Durchmesser, in der unteren Reihe die der Porenanteile über 10 µ Durchmesser aufgezeichnet. Die gestrichelte Linie trennt die Porengrößenanteile von 10 - 50 µ und über 50 µ Durchmesser, also die langsam und schnell dränenden Poren voneinander.

Deutlich ist zu erkennen, daß das Maximum der Poren über 50 µ, abgesehen vom Pflughorizont, in 40 - 60 cm Tiefe liegt, d.h., bei den Feuchtschwarzerden im unteren Teil des A-Horizontes, bei den Parabraunerden im B_t-Horizont, wo das Maximum jedoch nur schwach ausgeprägt ist. Das Grobporenmaximum nimmt innerhalb der Profilreihe vom Schwarzerde-Gley zur verbraunten Schwarzerde hin zu, von der stark verbraunten Schwarzerde zur Parabraunerde hingegen wieder ab.

In der Pflugsohle und dem Tiefpflughorizont ist der Anteil der groben Poren umso geringer, der Unterschied zu dem Anteil dieser Porengruppe im A_h- bzw. A_1-Horizont um so größer, je weiter die Strukturdegradation des Krumenhorizontes fortgeschritten ist. Da Verbraunung und Strukturdegradation zwar gleichsinnig, jedoch nicht unbedingt parallel verlaufen, besteht keine Übereinstimmung mit der genetischen Reihung der Profile.

Im Unterboden der Profile nehmen mit zunehmender Verbraunung auch die groben Poren, insbesondere deren Anteil von 10 - 50 µ zu.

Wie die Abb. 2 und 3 gezeigt haben, nehmen sowohl die feinen wie die groben Poren in gleicher Richtung zu. Da sich das Gesamtporenvolumen hierbei nur geringfügig verändert, erfolgt die Zunahme dieser Porengrößenanteile auf Kosten der mittleren Poren, deren Anteil mit zunehmender Verwitterung im A-Horizont wie im Unterboden der verbrannten und stark verbraunten Schwarzerden abnimmt und erst im A_h- und A_l- Horizont der Parabraunerden wieder ansteigt.

IV. Schlußbemerkung

Die hier mitgeteilten Ergebnisse der Porengrößenverteilung in den Profilen einer Feuchtschwarzerde-Parabraunerde-Reihe aus Löß haben gezeigt, daß sich innerhalb der Profilreihe sowie in den einzelnen Profilen das Verhältnis der Porengrößenanteile zueinander entsprechend der Strukturform ändert. Diese Veränderung der Porengrößenverteilung innerhalb der Feuchtschwarzerde-Parabraunerde-Reihe ist somit Ausdruck für den Strukturwandel vom Kohärentgefüge des G- bzw. Cg-Horizontes der Feuchtschwarzerden zum bröckelig-schwammigen Gefüge des A-Horizontes einerseits und zum polyedrisch-prismatischen Absonderungsgefüge des B_t-Horizontes der Parabraunerden andererseits.

Wie für den Porengrößenanteil unter 0,2 µ der Tongehalt (berechnet als Substanzvolumen) weitgehend bestimmend ist, wird der Gehalt an sekundären groben Poren (über 10 µ Durchmesser) weitgehend durch den Gehalt an organischer Substanz bedingt. So steigt im A-Horizont der Schwarzerden der Gehalt an groben Poren mit dem Gehalt an organischer Substanz an, die beide in der schwach pseudovergleyten, verbraunten Schwarzerde ihr Optimum erreichen.

Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft Bd. 1 S. 129-140, 1963

ERGEBNISSE PHYSIKALISCHER BODENUNTERSUCHUNGEN AN SCHWEREN BÖDEN

von H. Rid [x)]

Eine Verbesserung und Erleichterung der Nutzung schwerer Böden, die durch die neuen Entwicklungen in der Landwirtschaft besonders aktuell ist, ist erst dann möglich, wenn es gelingt, die Kenntnis der schweren Böden durch den Einsatz der Grundlagenforschung beträchtlich zu erweitern. Um zu einem Ziel zu gelangen, muß die gestellte Aufgabe von mehreren Seiten her angegangen werden. Diese Überlegungen waren maßgebend für die Bildung einer Arbeitsgemeinschaft, in deren Rahmen an schweren Böden geologische, bodenkundliche, vegetationskundliche, physikalische, chemische, mineralogische, mikrobiologisch-biochemische und mikromorphologische Untersuchungen durchgeführt werden. Der süddeutsche Raum mit seiner Vielgestaltigkeit ist für ein derartiges Vorhaben geradezu prädestiniert.

Entwicklung und Methoden

Typische Pelosole finden sich vor allem auf den Formationen des Muschelkalks, Keupers, Jura, Tertiärs und des Diluviums, in diese Räume wurden die Untersuchungen in erster Linie gelegt. Als grundlegende Aufgabe ergab sich die Entwicklung von speziell für Pelosole geeigneten Methoden. Neben der großen Zahl von Untersuchungen bildet die Untersuchungsmethodik den begrenzenden Faktor für die Erweiterung der Kenntnis der Physik schwerer Böden.

Ein kennzeichnendes Beispiel bietet die Prüfung der Wasserdurchlässigkeit. Auf dem Feld verwenden wir dazu Stechzylinder von 200 cm^3 Inhalt, die zur Hälfte in den Boden eingetrieben werden. Im Labor werden Stechzylinder mit 100 cm^3 Inhalt und ungestörten Bodenproben angesetzt, gestörte Bodenproben kommen im Proctorgerät zur Untersuchung (2). Bei Feldmessungen und Labor-

x) Bayer. Landesanstalt f. Bodenkultur, Pflanzenbau und Pflanzenschutz, München, Menzinger Str. 54

untersuchungen ungestörter Bodenproben ergibt sich für die Wasserdurchlässigkeit in zahlreichen Fällen der Wert Null. Beobachtungen zeigen aber, daß auch der Tonboden mit dem Wert Null eine gewisse Permeabilität für Wasser besitzt. Hier geht es also darum, natürliche Bedingungen und Untersuchungsmethodik in Einklang zu bringen. Zunächst muß diese Frage offen bleiben, wir hoffen jedoch in nächster Zeit einen Beitrag zu diesem Thema leisten zu können.

Eine Eigenschaft, die großen Einfluß auf die Nutzung besitzt, stellt die Permeabilität für Luft dar. Um sie zu messen, verwenden wir ein Gerät, das den Widerstand eines Luftstroms von 0,6 kg/cm^2 Druck im Boden anzeigt (3).

Die Durchlüftung in den ungestörten Schichten des Unterbodens und Untergrundes der Pelosole ist überwiegend ungenügend. Die gemessenen Zahlenwerte liegen nahe bei 0,6 kg/cm^2 Luftwiderstand, sie erreichen in zahlreichen Fällen die Höchstgrenze. Es darf bemerkt werden, daß solche Werte auch auf Pseudogleyen aus lehmigem Substrat gemessen wurden, sie finden sich nicht allein bei den Pelosolen.

Besondere Verhältnisse liegen bei Pelosolen mit plattiger Struktur vor. Wird der Luftstrom von 0,6 kg/cm^2 von oben her durch die plattigen Schichten geleitet, dann ergeben sich ungünstige Werte für die Durchlüftung. Eine Messung an der Profilwand, bei der der Luftstrom Gelegenheit hat, durch die Zwischenräume zwischen den Platten zu dringen, bringt dagegen wesentlich günstigere Werte (Abb. 1). Derartige schieferige bis plattige Strukturformen finden sich auf Böden des Gipskeupers, des Opalinustons, des Posidonienschiefers und der Oberen Meeresmolasse des Tertiärs, also insgesamt auf größeren Flächen.

Man kann die Permeabilität für Luft auf Böden mit plattigen Strukturformen durch einen mechanischen Eingriff in den Boden verbessern. Der Einsatz eines Untergrundhakens schafft eine Luftzirkulation zwischen Boden und Atmosphäre. Zugleich wird auf diese Weise die Permeabilität für Wasser verbessert. Die Verbesserung der Wasserführung und Durchlüftung durch den Einsatz eines Untergrundhakens hatte auf einem Boden der Oberen Meeresmolasse Ertragssteigerungen bei landwirtschaftlichen Kulturen zur Folge.

Auch Tonböden zerfließen und sind Erosionsvorgängen unterworfen, die Eigenschaft der Aggregatstabilität bedarf deshalb einer Festlegung in Zahlen. Es ist kaum möglich, den Einfluß des Regens auf den Boden im Labor zu imitieren, es kommt also vielmehr darauf an, bei der Entwicklung einer Methode der Prüfung der Aggregatstabilität die Dauerbehandlung durch den Regen in der Natur im Labor in kurzer Zeit nachzuholen. Dazu schienen uns Schallwellen besonders geeignet zu sein. Bei unserer Methode zur Messung der Stabilität von Bodenaggregaten durch Schallschwingungen verwenden wir ein Langwellenschallgerät mit Grundschwingungen zwischen 50 und 100 Hz. Die Aggregate werden etwa 10 bis 15 Minuten der Einwirkung der Schallwellen ausgesetzt (4). Mit dieser Behandlung wird die Eigenschaft der Klebrigkeit der Tonböden, die eine gute Aggregatstabilität vortäuscht, ausgeschaltet. Am besten wird dies durch einen Vergleich von Untersuchungsergebnissen nach einem Naß-Siebverfahren und nach der Schallwellenmethode demonstriert (Abb. 2). Die Aggregate des Ackerbodens erwiesen sich bei der Prüfung nach der Naß-Siebmethode als sehr stabil, die Behandlung durch Schallwellen zerlegte jedoch die Aggregate von 5-6 mm Durchmesser in die kleinen Fraktionen. Auf dem Grünland dagegen ergab sich nach beiden Methoden eine hohe Aggregatstabilität, womit einerseits die Bedeutung der Pflanzenwurzeln herausgestellt und andererseits die Zuverlässigkeit der Methode erwiesen ist. Auch die Ergebnisse der Untersuchungen des Waldbodens deuten nach dieser Richtung. Der verhältnismäßig starke Bewuchs des Waldbodens an Gräsern und Kräutern führte zu einer höheren Aggregatstabilität, die auch noch nach der Behandlung durch Schallwellen erhalten bleibt.

Einer besonderen Bearbeitung bedarf der Komplex der Messung der Plastizität. Zahlreiche Eigenschaften, manchmal sehr inhomogener Art, bauen ihn auf, so daß es schwierig ist, eine Methode zu finden, die gerade in der richtigen Streubreite liegt. Für Feldmessungen steht die Schlagsonde zur Verfügung, oder das Abschergerät nach Schaffer (7), mit dem wir gut verwertbare Ergebnisse erzielten (1). Alle Feldmessungen hängen mit ihren Werten jedoch vollkommen vom Feuchtigkeitsgehalt des Bodens ab. Es ist deshalb notwendig, bei der Messung der Plastizität das Schwergewicht auf Labormethoden zu verlegen.

Bei der Untersuchung mehrerer Serien schwerer Böden wurde ein in der Porzellanindustrie verwendetes Plastizitätsmeßgerät (Fa. Gebr. Netzsch, Selb in Bayern) benützt. Es liefert in einem Arbeitsgang die Werte für Scherfestigkeit und Zerreißfestigkeit (5).

Aus den bisherigen Meßergebnissen verdient eine bei Pelosolen bestehende und bei etwa 20-25 % Wassergehalt liegende Plastizitätsgrenze hervorgehoben zu werden. Bei Wassergehalten von weniger als 20 Vol. % ergeben sich hohe Werte für den Abscherwiderstand, während von dieser Grenze ab bei höheren Wassergehalten der Abscherwiderstand sehr schnell abnimmt (Abb. 3).

Dieses Meßergebnis spricht für eine größtmögliche Erhaltung der Bodenfeuchtigkeit, wie übrigens auch die später folgende Betrachtung des Wasserhaushalts der Pelosole. Um die Bodenbearbeitung im Frühjahr auf der Stoppel und im Herbst zu erleichtern und zu sichern, sollten Tonböden so melioriert werden, wenn man die Melioration hier vom Gesichtspunkt der Bodenbearbeitung aus betrachtet, daß ihnen im Laufe der Vegetationszeit etwa 25 Vol.% Wasser verbleiben. Eine meßbare Plastizität ist nach den Ergebnissen mit dem genannten Meßgerät bei Pelosolen noch bei 30 Vol.% Wassergehalt des Bodens gegeben, bei höheren Wassergehalten verliert der Boden seine plastische Phase, was ja auch visuellen Beobachtungen entspricht.

Aus den bisher erhaltenen Diagrammen lassen sich für bestimmte Pelosole typische Bündelungen der Meßkurven ablesen (Abb. 3). Es ist möglich, daß sich durch weitere Messungen typische Eigenschaften der Pelosole erfassen und in Zahlen niederlegen lassen. Es soll jedenfalls der Versuch gemacht werden, durch Plastizitätsmessungen zu einer weiteren Untergliederung der Pelosole zu gelangen, womit sich in der Systematik der Pelosole ein Fortschritt erzielen ließe.

DIE GROBSTRUKTUR

In langjährigen Untersuchungen hat sich zur Bestimmung der Grobstruktur vor allem die Stechzylindermethode nach v. Nitzsch bewährt. Es bestätigte sich, daß Tonböden gleiches Porenvolumen wie Sandböden besitzen können, eine Erscheinung, die bereits Wollny nachgewiesen hat. Es ist also notwendig, auch die Porengrößen auf irgendeine Weise zu bestimmen, wobei wir uns von der Seite der Mikromorphologie her viel versprechen (1). Betrachtet man die Messungen der Grobstruktur, dann kann gar nicht erwartet werden, daß eine Parallelität besteht zwischen Porenvolumen und anderen physikalischen Eigenschaften wie Durchlüftung oder Wasserdurchlässigkeit.

Verringerungen des Porenvolumens an der Pfluggrenze, sog. Pflugsohlen, wurden auf Tonböden nur vereinzelt angetroffen, während sie z.B. auf Lößlehmen die Regel darstellen. In Gebieten mit geringen Niederschlagshöhen bilden Pflugsohlen eine Ausnahme, mit dem Ansteigen der Niederschlagshöhen dagegen sind sie da und dort auch auf Pelosolen anzutreffen, der Einfluß der Bodenkultur tritt hier wohl zutage. Gründe für das nur vereinzelte Auftreten von Pflugsohlen auf Pelosolen dürften in einer besonders im Trockenzustand besonders ausgeprägten Statik liegen, die sich gegenüber dem Lehmboden in einer besseren Tragfähigkeit äußert. Weiter ist das Vorherrschen kleiner Poren einer Durchschlämmung von Kolloiden weniger förderlich.

Bestimmungen der Kolloidschrumpfung und am gleichen Standort wiederholt durchgeführte Messungen der Grobstruktur ergaben bei manchen Pelosolen, z. B. des Jura, eine gewisse Trägheit der Eigenbewegung. Eine Arbeit, die Ergebnisse von 10 jährigen Messungen am selben Ort zusammenfaßt, zeigte, daß dabei die Pseudovergleyung eine Rolle spielt (6). Aber auch die Art der Tonminerale, vielleicht bei den Juraböden der höhere Anteil an Chloriten, dürfte maßgebend sein für einen geringeren Umfang der Eigenbewegung. Vergleiche mit anderen Untersuchungen müssen weitere Klarheit bringen, möglicherweise läßt sich auch von dieser Seite her eine engere Gruppierung der Pelosole erreichen. Das Porenvolumen von Tonböden kann bis auf 35 Vol.% absinken. Es ist notwendig, an solche Meßergebnisse eine Betrachtung der Wasserbilanz anzuschließen. Auch in Feldversuchen konnten wir bei Tonböden eine Totwassergrenze von 20 Vol.% feststellen. An pflanzenverfügbarem Wasser verbleibt also in Tonböden mit niedrigem Porenvolumen optimal ein Volumen von 15 %. Da jedoch die Feldkapazität bei 30 Vol.% liegt, wird dieser Wert gar nicht erreicht. Ebenso, wie aus der Messung der Plastizität muß aus der Bestimmung der Grobstruktur der Schluß abgeleitet werden, daß bei der Entwässerung von Pelosolen größte Vorsicht am Platze ist.

EINFLUSS DER BODENNUTZUNG

Die Untersuchungen unserer Bodenserien erstrecken sich abwechselnd auf Acker, Grünland und Wald. Aus diesen Standorts- und Nutzungsvergleichen resultieren interessante Erfahrungen. So wurden z.B. auf Grünland stets bessere physikalische Meßwerte gefunden als auf Ackerland. Sie erstrecken sich auf das Porenvolumen, die Aggregatstabilität (Abb. 2), die Wasserdurchlässigkeit, die

Durchlüftung, den Eindringwiderstand und den Abscherwiderstand. Auch auf Waldböden finden sich oft überraschend günstige physikalische Eigenschaften (1).

Diese Untersuchungsergebnisse stellen die Bedeutung der Pflanzenwurzeln, aber auch der Bodenruhe für die Verbesserung physikalischer Bodeneigenschaften heraus. Eine Verbesserung schwerer Böden sollte nicht nur auf einem Wege versucht werden; ein höherer Effekt wird sicher durch eine Verbindung mechanischer Eingriffe mit biologischen und chemischen Maßnahmen zu erzielen sein.

Natürlicher Kalkreichtum ist nicht ohne weiteres gleichbedeutend mit günstigeren physikalischen Bodeneigenschaften. Dies gilt für Unterboden und Untergrund, im Krumenraum bleibt der Wert einer Kalkung unbestritten. Textur, Porengrößen und damit im Zusammenhang stehende physikalische Eigenschaften überdecken die bekannte strukturverbessernde Wirkung des Kalks. Ähnliches gilt für den Humusgehalt. Damit wird weiterhin bekräftigt, daß ein Faktor der Bodenverbesserung allein wenig vermag, der gegebene Weg liegt im Zusammenwirken geeigneter Faktoren der Bodenverbesserung und der Bodenfruchtbarkeit.

ZUSAMMENHÄNGE MIT ANDEREN MESSERGEBNISSEN

Im Verlauf der Untersuchungen trat immer wieder die Notwendigkeit der Mithilfe anderer Disziplinen bei der Klärung spezieller Fragen zutage. Wertvolle Beiträge konnten von verschiedenen Seiten geliefert werden (1). Vegetationskundliche Beobachtungen auf der Albüberdeckung des südlichen Frankenjura stellten dort zahlreiche Feuchtigkeitszeiger fest, jedoch nur im Krumenraum und nicht für den Untergrund. Eine überraschend günstige Wasserdurchlässigkeit im Untergrund einer Terra fusca fand dadurch ihre Bekräftigung. Gute Übereinstimmungen ergaben sich mit der Charakterisierung der Humusqualität. Auf Pseudogleyen fanden sich geringwertige Humusformen; auf einem Pelosol der Oberen Meeresmolasse wies die Krume günstige Werte auf, nach der Tiefe war ein starker Abfall der Werte zu verzeichnen. Es ergab sich eine enge Übereinstimmung mit den physikalischen Meßwerten. Mikrobiologische Untersuchungen wiesen bei einem Pelosol der Oberen Meeresmolasse mit plattiger Struktur eine höhere biologische Aktivität nach als bei kompakte Pelosolen. Die Zahl der Schimmelpilze ist sehr stark abhängig vom Porenvolumen.

Eine nicht erwartete geringe Aggregatstabilität einer Mullrendzina auf Malm ließ sich durch die mikromorphologischen Untersuchungen mit einer mangelhaften Bindungsfähigkeit der Gefügeelemente erklären. Es war möglich, bodentypologische Überlegungen zu lenken und zu festigen, die Bodenbildungen auf dem Malm z.B. boten dazu Gelegenheit. Es ließen sich noch zahlreiche Beispiele und Beweise dafür anführen, daß nur eine Zusammenarbeit verschiedener Disziplinen neue Erkenntnisse bringen kann. Daß man nicht innerhalb einer engen Grenze stehen bleiben sollte, zeigt die wertvolle Hilfe, die von der Mineralogie her geleistet wurde und noch erwartet werden kann.

UNTERSTÜTZUNG DER SYSTEMATIK DER PELOSOLE

Es dürfte nicht genügen, den Bereich der Pelosole allein nach ihrer Textur abzugrenzen. Bei einer weiteren Gliederung der Pelosole in Subtypen und Varietäten dürfte mehr als bei den übrigen Gruppen von Bodentypen die Physik der Böden eine Rolle spielen. Nach den uns vorliegenden Untersuchungsergebnissen zeichnet sich eine weitere Untergliederung der Pelosole in folgende Subtypen von sehr verschiedener Dynamik ab, wobei hier an die Bodennutzung gedacht ist:

1. Der kompakte in seiner Struktur ungegliederte, in situ befindliche Pelosol.

Er besitzt verhältnismäßig günstige physikalische Eigenschaften und ist mit Nährstoffen gut versorgt.

2. Der umgelagerte Pelosol.

Er besitzt ebenfalls kompakte Struktur, seine physikalischen Eigenschaften jedoch sind wesentlich ungünstiger als die des Pelosols in situ. Dasselbe gilt auch für Makro- und Mikronährstoffe, ihr Anteil wurde durch die Umlagerung verringert, dies ist durch unsere bisherigen chemischen Untersuchungen nachgewiesen. Diese Böden nehmen große Flächen ein und besitzen damit große Bedeutung.

3. Der Pelosol mit schieferiger bis plattiger Struktur.

Er kann durch die geologische Formation ausgedrückt werden, diese ist dem Landwirt jedoch meist unbekannt.

4. Eine weitere Möglichkeit einer Untergliederung kann sich aus Untersuchungen der Plastizität ergeben; es ist nicht ausgeschlossen, daß dieses Plastizitäts-Verhalten auch morphologisch angesprochen werden kann.

Eine derartige Untergliederung der Pelosole, die selbstverständlich nur sehr unvollständig ist und nur eine Art Hypothese darstellen kann, um einen Schritt weiter zu kommen, würde für die Zwecke der Bodenbewirtschaftung einige Vorteile bergen. Sie würde es vor allem gestatten, von der Bodenbeurteilung ausgehend Schlüsse für die Bearbeitung, für die Düngung oder für die Auswahl landwirtschaftlicher Kulturen abzuleiten. Damit werden zugleich erste praktische Ergebnisse der Grundlagenforschung auf Pelosolen sichtbar.

ZUSAMMENFASSUNG

Es wird über im Rahmen einer Arbeitsgemeinschaft zur Untersuchung der Dynamik schwerer Böden durchgeführte physikalische Bodenuntersuchungen berichtet. Besondere Bedeutung kommt bei der Untersuchung der Pelosole der Entwicklung von Methoden zu, wobei die Permeabilität für Wasser an erster Stelle steht. Neue Methoden wurden entwickelt oder aus der Industrie übernommen. Die mitgeteilten Ergebnisse geben Einblick in das physikalische Verhalten der Pelosole, sie gestatten unter anderem eine weitere Untergliederung der Systematik der Pelosole.

LITERATUR

1. Altemüller, H.J., Beck, Th., Brunnacker, K., Eberhard, E., Poschenrieder, H., Rid, H., Wagner, A., Zeidler, H.: Untersuchungen zur Dynamik schwerer Böden. 1. Mitt.: Böden des Steigerwaldes. Bay. Landw. Jb. 1960, Sonderheft 4. 2. Mitt: Böden des südlichen Frankenjura. Bay. Landw. Jb. 1962, Sonderheft 1.

2. Merkblatt für bodenphysikalische Prüfverfahren. Forschungsgesellschaft für das Straßenwesen. Köln 1955.

3. Rid, H.: Über eine Feldmethode zur Messung der Bodendurchlüftung. Z.f. Pfl., Düng.u. Bodenkunde, 87, (133.) Band, 5, 1959.

4. --: Eine Methode der Krümelstabilitätsmessung durch Schallschwingungen. Z. f. Pfl., Düng. u. Bodenkunde, 87. (133.) Band, 3, 1959.

5. --: Apparat zur Messung der Scherfestigkeit und Zerreißfestigkeit des Bodens, Z.f. Pfl., Düngg., Bdkd. 102 Bd., 3, 1963.

6. --: Strukturveränderungen des Ackerbodens im Bereich der Krume, der Pflugsohle und des Untergrundes, nachgewiesen durch Strukturdiagnosen und Messungen der Grobstruktur. Z.f. Acker- und Pflanzenbau, 114, 1, 1962.

7. Schaffer, G.: Eine Methode der Abscherwiderstandsmessung bei Ackerböden zur Beurteilung ihrer Strukturfestigkeit im Felde. Landw. Forschung 13, 1, 1960.

Abb. zu Rid: Ergebnisse physikalischer Bodenuntersuchungen an schweren Böden.

Abb. 1) Messung der Permeabilität für Luft an einem Profil der Oberen Meeresmolasse. Die Messung an der Profilwand (schraffiert) brachte günstigere Ergebnisse als die Messung in der Horizontalen (nicht schraffiert). Quer schraffiert = Wassergehelt.

Abb. 2) Bestimmung der Aggregatstabilität von drei Pelosolen unter Grünland, Wald und Ackerland nach einem Naßsieb-Verfahren und nach der Schallwellenmethode.

Abb. 3) Werte für die Abscherfestigkeit von vier Pelosolen.

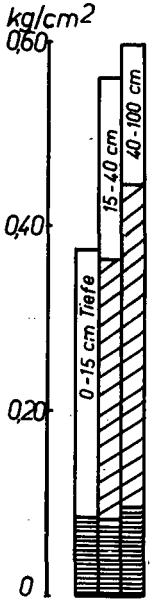

kg/cm2
0,60
0,40
0,20
0
0-15 cm Tiefe
15-40 cm
40-100 cm

Abb. 1

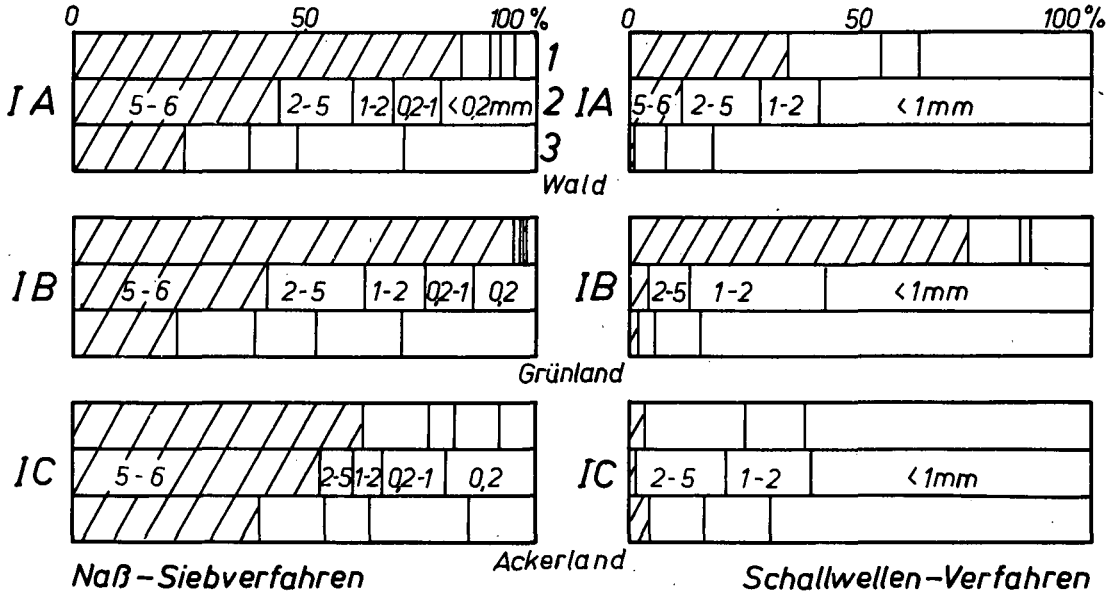

0
50
100 %
IA
5-6
2-5
1-2
0,2-1
< 0,2mm
1
2
3
Wald
IA
5-6
2-5
1-2
< 1mm
IB
5-6
2-5
1-2
0,2-1
0,2
IB
2-5
1-2
< 1mm
Grünland
IC
5-6
2-5
1-2
0,2-1
0,2
IC
2-5
1-2
< 1mm
Ackerland
Naß-Siebverfahren
Schallwellen-Verfahren

Abb. 2

Scherfestigkeit

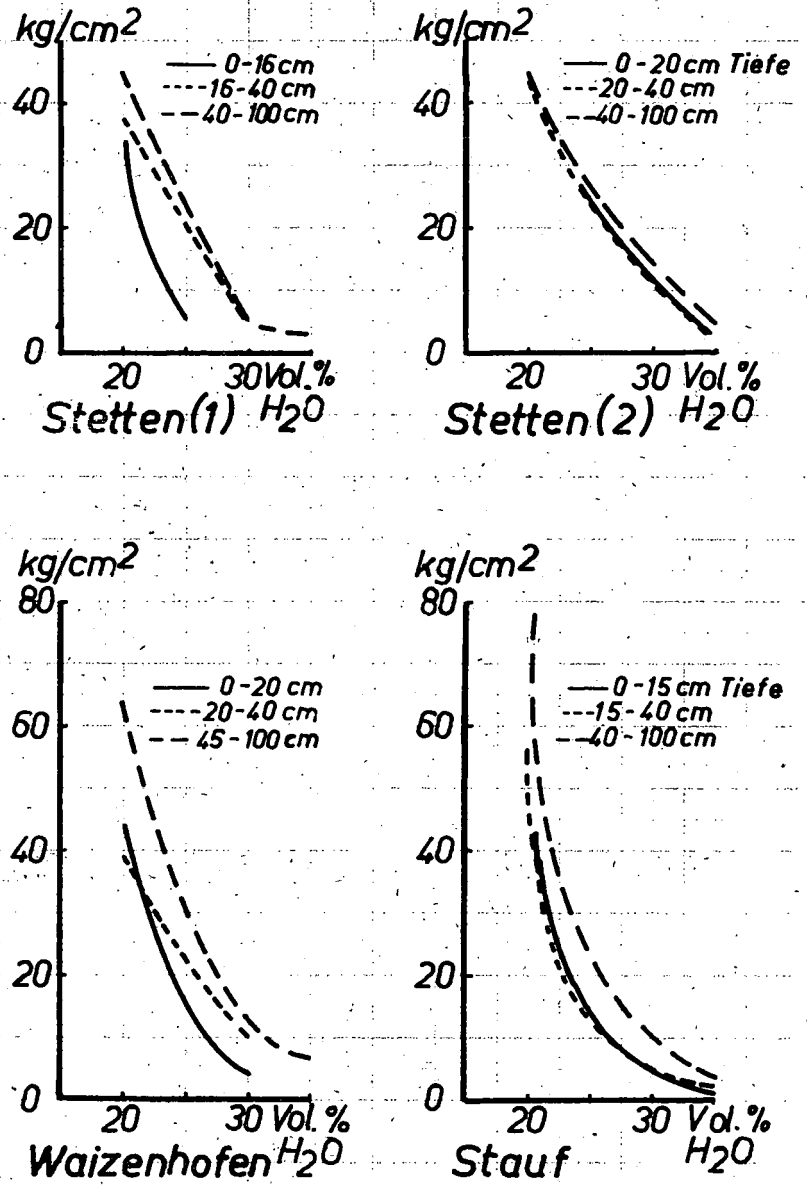


Abb. 3

Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft Bd. 1 S. 141-142, 1963

EINFLUSS DER DRÄNUNG AUF DIE STRUKTUR DES MARSCHBODENS

(Kurzfassung s. a. Veröffentlichung in Z. f. Kulturtechnik in Vorbereitung)

von H. Kuntze[x)]

Struktureigenschaften, insbesondere die Permeabilität, werden in zunehmendem Maße als bestimmendes Merkmal zum Feststellen der Dränfähigkeit von Böden gewählt. Dabei muß zwangsläufig vom derzeitig vorliegenden Entwicklungszustand der Böden und seiner ihn charakterisierenden Bodenstruktur ausgegangen werden, Meist sind dränbedürftige Böden nur zeitweise vernäßt. Dieser deshalb stark wechselnde Bodenfeuchtezustand bedingt, besonders bei tonreichen Marschböden eine starke Strukturdynamik mit temporär extrem wechselnder Permeabilität, die es bei Wahl des Untersuchungszeitpunktes und Aussagekraft der Ergebnisse zu beachten gilt. Mit Einsetzen der Dränwirkung werden wechselfeuchte Bodenverhältnisse beseitigt bzw. auf einen nunmehr wesentlich tieferen Bodenprofilabschnitt verdrängt.

Dabei erhebt sich die Frage, ob, in welchem Umfange und welcher Intensität wesentliche Struktureinzeleigenschaften sich so verändern, daß bisherige, pflanzenbauliche Nutzungsbegrenzungen erweitert werden könnten.

Weiterhin war zu prüfen, ob die dadurch ausgelöste Strukturförderung vor allem die Durchlässigkeit des betreffenden Bodens so ändert, daß damit die nach seinem ursprünglichen Strukturzustand bemessene Dränung nun im Verlauf dieser Bodenentwicklung als zu eng - weniger im Hinblick auf ihre Wirkung als vielmehr wegen dann für den gleichen Entwässerungseffekt genügender weiter Saugerabstände - betrachtet wird. Von organogenen Böden ist bekannt, daß diese im Verlauf einer Entwässerung dichter

x) Anschrift d. Verfassers: Dr. Herbert Kuntze, Grünlandlehranstalt und Marschversuchsstation f. Niedersachsen Infeld/Nordenham

lagern und bei Zunahme des Zersetzungsgrades unter gleichzeitiger Abnahme der Permeabilität im Laufe einiger Jahre erneut, und zwar dann enger gedränt werden müssen. Bei kolloidreichen Mineralböden, die zur Schwundrißgefügebildung durch Wasserentzug neigen, dürfte das Gegenteil angenommen werden. Hierzu zählen weite Gebiete der Marschen. Wenn es gelänge, durch eine Voraussage der an der Permeabilität absolut meßbaren Strukturbildung und Bodenentwicklung im Verlaufe einer Entwässerung, diesen Meliorationserfolg mit einzuplanen, wäre eine wesentliche Ersparnis an Investitionsmittel möglich.

Ausgehend von den durch Hooghoudt-Ernst mathem. formulierten potentialtheoretischen Verhältnissen der Strömung des Wassers im Boden zum Drän, wird von allen Größen vor allem die Permeabilität K_2 (über Dräntiefe) als veränderlich durch die Dränwirkung angesehen.

Der Kosten senkende Einfluß einer durch Entwässerung und sonstige Profilverbesserungsmaßnahmen veränderlichen Permeabilität des Bodens oberhalb Dräntiefe bei unterschiedlich konstanter Permeabilität unter Dräntiefe könnte danach vor allem bei Dränabstandsbestimmungen in schlecht durchlässigen Staunässeböden Bedeutung erlangen.

Vergleichende Untersuchungen eines mehrere Jahre entwässerten Marschbodens lassen unter Mitwirkung der Witterung beträchtliche Zunahmen der Permeabilität über Dräntiefe erkennen.

Auswirkungen einer durch Dränung geförderten Bodenentwicklung sind an anderen untersuchten Struktureigenschaften (Porenvolumen, spannungsfreies Porenvolumen, Lagerungsdichte) jedoch vorerst kaum zu erkennen.

Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft Bd. 1 S. 143-148, 1963

FELDBEOBACHTUNGEN ZUR STRUKTURDYNAMIK VON LEHM- UND TONBÖDEN

H. Wichtmann[x)]

Wenn wir von der Dynamik der Bodenstruktur sprechen, sagen wir damit aus, daß sich die Struktur des Bodens in ihrer morphologischen und funktionellen Beschaffenheit in bestimmten Grenzen selbsttätig verändern kann. Während einer bodenkundlichen Kartierung im Erfttal hatte ich Gelegenheit, Veränderungen im Strukturzustand eines Pseudogleys in Abhängigkeit vom Witterungsverlauf zu verfolgen und möchte darüber einleitend berichten.

Unter dem Einfluß einer starken Vernässung im Regenjahr 1961 nahm ein Braunerde-Pseudogley aus holozänem tonigem Lehm an der Oberfläche bis in etwa 5 cm Tiefe weitgehend den Charakter einer Bodensuspension an. Mit beginnender Abtrocknung zeigten sich Risse und Spalten, die den Boden oberflächlich in große Polygone zerteilten. Eine Aufgrabung ließ erkennen, daß die stauende Nässe den gesamten Ap-Horizont in ein System massiver, dichter Blöcke verwandelt hatte. An der Oberfläche des Ap-Horizontes bildeten sich schließlich plattige Strukturelemente aus, deren Entwicklung mit den idealen Möglichkeiten zur Orientierung der Tonteilchen in einer Bodensuspension zusammenhängen dürfte, worauf SIDERI (1936) hingewiesen hat. Unter dem Einfluß der stärkeren Abtrocknung und unter dem Einfluß offenbar auch der Vegetation (Krötenbinse und Ackerfuchsschwanz stellten sich allmählich wieder ein), ließen sich die großen Blöcke in kleine, scharf-kantige Polyeder zerlegen.

Als schließlich eine Aufgrabung des gesamten Profils angelegt wurde, zeigte es sich, daß der Boden zur Tiefe noch weitgehend in einem ungegliederten, kohärenten Zustand vorlag. Unter dem Einfluß intensiver

x) Anschrift: Dr. H. Wichtmann, Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen, Krefeld

Sonnenbestrahlung ließen sich bald unregelmäßig ausgebildete Schuppen von der Profilwand ablösen, unter denen wiederum der ungegliederte Bodenkörper sichtbar wurde. Einige recht sonnige Tage später jedoch ließ sich die Bodenmasse in große, etwas unregelmäßige Prismen zerteilen.

Nach unseren Feldbeobachtungen erstreckt sich also die Strukturdynamik unseres Braunerde-Pseudogleyes vom Stadium einer regelrechten Bodensuspension über den ungegliederten, kohärenten Zustand bis zur plattigen, bzw. polyedrisch-prismatischen Ausprägung.

Von großem praktischem Interesse ist nun die Frage, welche Bedeutung dieser Strukturwandel für die funktionellen Eigenschaften des Bodens hat. Auskunft darüber konnte nicht anhand von Beobachtungen an obigem Braunerde-Pseudogley gewonnen werden. Da dessen Vernässung durch einen Staukörper im Untergrund bedingt ist, kann sich die Dynamik der Bodenstruktur hier wenig auf den Wasserhaushalt auswirken. Anders aber verhält es sich bei den von der Grundwasserabsenkung betroffenen Gleyen des Erfttales.

Die Grundwasserabsenkung des Braunkohlenbergbaues hat seit einer Reihe von Jahren in den Böden des Erfttals großräumig einschneidende Veränderungen ausgelöst. Die künstliche Trockenlegung der weit verbreiteten Gleye und Pseudogley-Gleye hat die Struktur dieser Böden ähnlich beeinflußt, wie die natürliche Abtrocknung den oben gezeigten Braunerde-Pseudogley.

In ihrem bodenartlichen Aufbau sind die Auenlehme des Erfttals (siehe Abbildung) gekennzeichnet durch einen Tongehalt von meist zwischen 20 und 50 % in den S- und Go-Horizonten, der im Gr-Horizont auf Beträge von meist unter 20 % abfällt. Die Mächtigkeit der Auenlehmdecke liegt meist zwischen 1 und 2 m, die Bodenreaktion zwischen PH 6 und 7. Die Basensättigung ist mit einem V-Wert von meist über 80 % als gut zu bezeichnen.

Abbildung: Korngrößenzusammensetzung, PH-Werte und Sorptionsverhältnisse typischer Pseudogley-Gleye des Erfttals (s. Anhang)

Ursprünglich lagen die Gleye und Pseudogley-Gleye aus dem holozänen Lehm bis Ton des Erfttals in einer weitgehend ungegliederten, kohärenten, z. T. zähplastischen Struktur vor. Folge dieses ungünstigen Strukturzustandes

war eine weitgehende Wasserundurchlässigkeit der Böden. Sie äußerte sich einmal in dem häufigen Vorkommen gespannten Grundwassers in den kiesigen Sedimenten unterhalb der Auenlehmdecke und dem Auftreten zahlreicher Quellen in der Talaue. Sie äußerte sich weiter im häufigen Auftreten von Nässeschäden, die primär nicht durch das Grundwasser, sondern durch das Stauwasser hervorgerufen wurden. Sie äußerte sich schließlich in der schlechten kapillaren Wasserbewegung in diesen Böden, die für eine optimale Futterproduktion auf Grünland mit Grundwasserflurabständen zwischen 50 und 100 cm den Einsatz von Beregnungsanlagen notwendig macht. (Noch 1946 wurden 60 % des Wiesenareals im Erfttal bewässert - ZIMMERMANN 1949 -).

Durch die Grundwasserabsenkung hat sich die ursprüngliche, für die Wasserbewegung sehr ungünstige, ungegliederte Kohärentstruktur entscheidend gewandelt und ist in eine sehr deutlich differenzierte, prismatische, z.T. auch polyedrische Struktur übergegangen. Wie diese morphologischen Veränderungen sich auf die Funktion der Bodenstruktur ausgewirkt haben, ließ die Vegetation im Nässejahr 1961 deutlich erkennen.

Im nicht von der Grundwasserabsenkung betroffenen Gebiet des Erfttals hatte das Übermaß an Niederschlägen für die Landwirtschaft verheerende Folgen. Trittschäden auf Grünland führten zu einer fast vollständigen Zerstörung der Grasnarbe auf den Flächen, die in trockneren Klimaperioden beregnet werden. Das Wintergetreide war stellenweise bereits durch erhebliche Nässeschäden im Herbst 1960 stark geschädigt. Flächen, die in der milden und sonnigen Witterungsperiode März - April 1961 mit Sommergetreide neu bestellt worden waren, zeigten bald von neuem schwerste Schäden.

Im Bereich der Grundwasserabsenkung dagegen wies die Vegetation weder auf den Gleyen, noch auf den Pseudogley-Gleyen aus Lehm bis schluffigem Ton (ursprünglicher Grundwasserstand zwischen 40 und 130 cm) Spuren von Nässeschäden auf. Dagegen zeigten Gley-Pseudogleye aus tonigem Lehm (ursprünglicher Grundwasserstand 130 - 200 cm) trotz der Grundwasserabsenkung erhebliche Staunässeschäden.

Diese Beobachtungen lassen die große Bedeutung der Strukturdynamik für die Wasserführung der schweren Böden erkennen. Darüber hinaus aber geben sie einen Hinweis für die Auswertung bodenphysikalischer Untersu-

chungen an grobstruktuierten schweren Böden. Niedrige Kf-Werte, wie sie bei Wasserdurchlässigkeitsmessungen an Gleyen des Erfttals im Bereich der Grundwasserabsenkung von WOHLRAB (1960) häufig gefunden wurden, dürfen nicht ohne weiteres als Zeichen von Staunässe gewertet werden. Mit WYSSOZKI (1933) halte ich für angebracht, bei schweren Böden zwischen "Infiltration" (das ist die Wasserbewegung in den Gefügekörpern) und "Influktuation" (das ist die Wasserbewegung auf den Gefügekörpern, also in Rissen und Spalten) zu unterscheiden. Durchlässigkeitsmessungen aber an Proben, die zufällig keine Gefügespalten aufweisen, können ohne Zweifel eine weit geringere Durchlässigkeit zeigen als sie dem Boden als Ganzes tatsächlich zukommt.

Doch zurück zur Strukturdynamik der durch die Grundwasserabsenkung künstlich veränderten Böden.

Eine Beobachtung, die für eine recht träge Strukturdynamik spricht, lieferte das Trockenjahr 1959. Die große Sommerdürre dieses Jahres ließe eine zusätzliche Wasserversorgung des Grünlandes auf Gleyen und Pseudogley-Gleyen aus tonigem Lehm, die im Bereich der Grundwasserabsenkung liegen, angebracht erscheinen. Da Stauanlagen und Gräben für die Berieselung von früherer Zeit her vorhanden waren, erschien eine solche zusätzliche Wasserversorgung ohne Schwierigkeiten möglich. Es stellte sich aber folgendes heraus: Das aufgestaute Wasser der Erft versickerte so schnell im Boden, daß eine flächenhafte Anfeuchtung durch Berieselung unmöglich war. Nach 14 Tagen wurde der Berieselungsversuch praktisch ergebnislos abgebrochen.

Eine weitere Beobachtung brachte das Nässejahr 1961. Infolge eines wolkenbruchartigen Dauerregens - es fielen innerhalb 48 Stunden 82 mm Niederschläge - kam es am 4. Juni 1961 zu der wohl schwersten Überschwemmung des oberen und mittleren Erfttals seit Menschengedenken. Da sich die Ufer der Erft meist wallartig über das Talniveau erheben, blieben auch nach Abzug des Hochwassers große Wasserflächen im Erfttal zurück. In dem nicht von der Grundwasserabsenkung betroffenen Talabschnitt sowie auf den Gley-Pseudogleyen mit abgesenktem Grundwasser dauerte die Versickerung bzw. Verdunstung des Wassers wochenlang und führte wiederum weit verbreitet zu empfindlichen Ertragsausfällen bei Zuckerrüben wie bei Getreide. Im Gebiet der Gleye und Pseudogley-Gleye mit abgesenktem Grundwasser dagegen war das Überschwemmungswasser in wenigen Tagen restlos versickert. Nässeschäden bei Zuckerrüben und Getreide traten nicht auf. Diese Beobachtung erhält ihr besonderes Gewicht dadurch, daß die Überstauung der Böden nach einem sehr nassen Winter und Frühjahr stattfand, praktisch also im Zustand der vollen

Wassersättigung des Bodens erfolgte. Wir sehen in diesem Verhalten des Bodens eine Parallele zu Labor-Untersuchungen von EMERSON (1953), der berichtet, daß sich die Wasseraufnahme durch natürliche Strukturelemente toniger Böden bei niedrigem Saugdruck über die lange Zeit von 3 Monaten fortsetzte. In ähnlicher Weise läßt sich hier sogar feststellen, daß der ursprüngliche Strukturzustand des Bodens mit seinen ungünstigen Struktureigenschaften, der bei ständiger Sättigung durch hohes Grundwasser ausgeprägt wurde, sich trotz eines überreichen Wasserangebotes über eine Zeit von fast einem ganzen Jahr nicht wieder eingestellt hat. Es muß weiteren Untersuchungen vorbehalten bleiben, festzustellen, ob die Lehm- und Tonböden des Erfttals von ihrer Dynamik her einen besonders träge reagierenden Typ darstellen oder aber ob der Vorgang der Wasserwiederaufnahme und Quellung schwerer Böden sich allgemein über einen längeren Zeitraum erstreckt, als wir es uns vorzustellen gewohnt sind.

Literaturverzeichnis

1. EMERSON, W.W.: The rate of water uptake of soil crumbs at low suctions. I. Soil Sci. 6, 1955, 147, zitiert nach T.I. Marshall, Relations between water and soil, Harpenden 1959

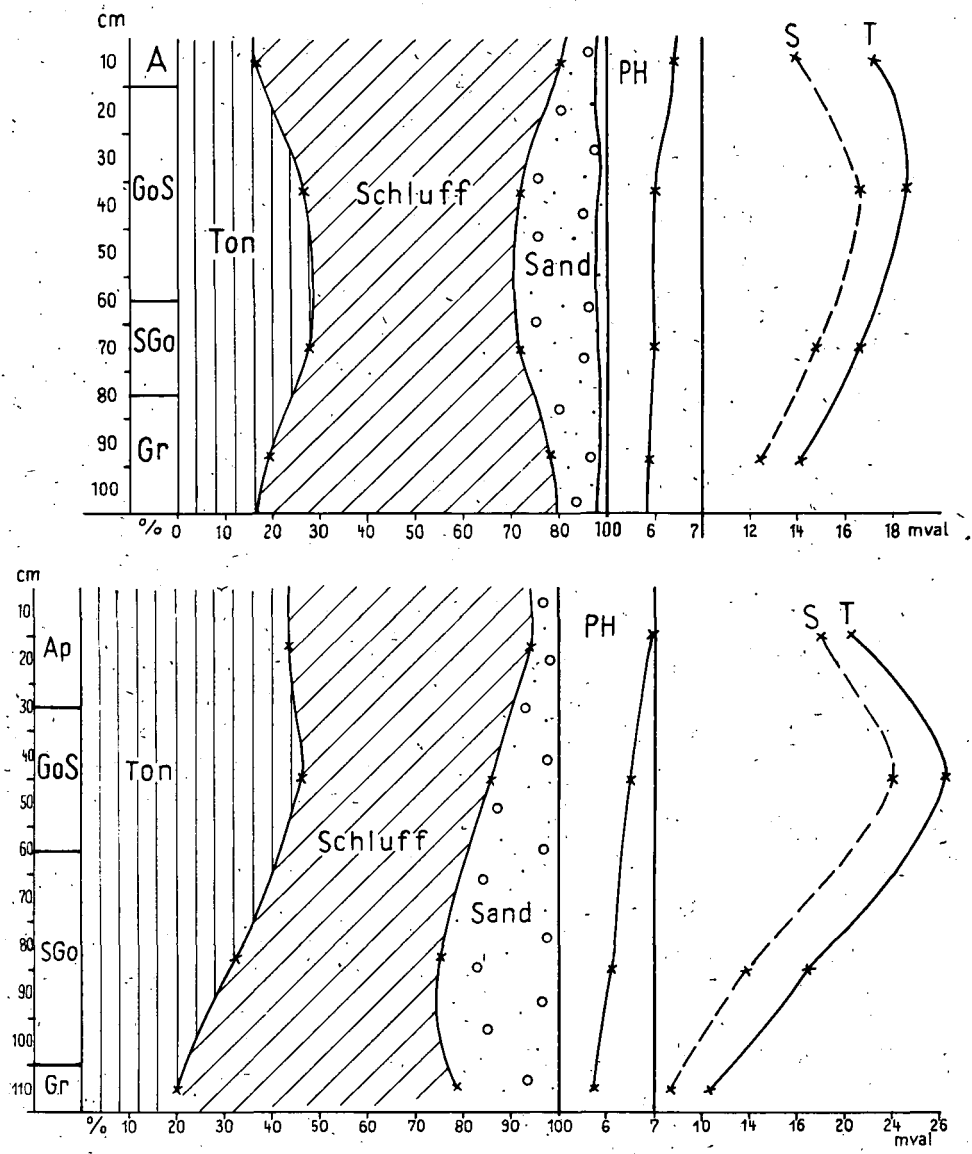
2. SIDERI, D.L.: On the formation of structure in soil. Soil Sci. 42 1936, 461

3. WOHLRAB, B.: Ein Beitrag zur Frage über die Auswirkungen wasserwirtschaftlicher Eingriffe auf die Bodenentwicklung. Z.f.Pflanzenernährung, Düngung und Bodenkunde 90, 1963, 193

4. WYSSOZKI, 1933, zitiert nach A.A. Rode: Das Wasser im Boden, Berlin 1959.

5. ZIMMERMANN, J.: Bodenkultur und Landschaft der Erftniederung. Bonn 1949.

Korngrössenverteilung, PH-Werte und Sorptionsverhältnisse typischer Pseudogley-Gleye des Erfttals



Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft Bd. 1 S. 149, 1963

"PHÄNOLOGISCHE GEFÜGEDYNAMIK VERSCHIEDENER BODENTYPEN, UNTER BESONDERER BERÜCKSICHTIGUNG SCHWERER BÖDEN"

von G. Schaffer[x)]

(Die Original-Arbeit erscheint in der Zeitschrift für Acker- und Pflanzenbau unter dem Titel "Phänologische Strukturänderungen bei verschiedenen Bodentypen")

Strukturänderungen, durch den jahreszeitlichen Wechsel der Witterung verursacht, werden als phänologische Strukturänderungen bezeichnet. Den Bodentypen als charakteristische Grundgestalten mit ihrer jeweils spezifischen Dynamik kann man definierbare Grundverhaltensweisen bezüglich der phänologischen Strukturänderungen zuordnen.

Es wird der Versuch unternommen, die Schwankungsamplitude der mechanischen Strukturfestigkeit, gemessen durch den Abschwerwiderstand und die Strukturzerfallsneigung, im Frühjahr und Sommer bei 6 schweren Böden festzustellen. Gerade die Schwankungsamplitude der mechanischen Festigkeit als "ökologische" Größe, scheint besonders geeignet zu sein, um das unterschiedliche Verhalten verschiedener Bodentypen in ihrer Gefügedynamik zu kennzeichnen.

x) Priv.-Doz. Dr. G. Schaffer, Techn. Hochschule, Braunschweig

Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft Bd. 1 S. 151-155, 1963

"WASSERHAUSHALTSBEOBACHTUNGEN IN ZUCKERRÜBEN-BESTÄNDEN AUF PARABRAUNERDEN"

A. v. Müller [x)]

Nachdem durch die Feldberegnung der nach dem Kriege auf den leichten Böden stärker betriebene Zuckerrübenbau an Rentabilität gewonnen hatte, bewogen die Trockensommer 1947 und 1953 vielerorts, Rüben auch auf schweren Böden zu beregnen, nämlich auf den klassischen Zuckerrübenstandorten Deutschlands, die bodenartlich ihren Schwerpunkt in den Fraktionen unterhalb 60 my haben, genetisch zu den Geschiebelehmen, Löß oder Verwitterungsböden von Jura und Trias gehören und typenmäßig zu den Braunerden und Parabraunerden mit und ohne Pseudogleyeinfluß, teils auch zu den Schwarzerden und Pelosolen zu stellen sind. Das Göttinger Versuchsfeld des Instituts für Zuckerrübenforschung, auf dem die nachstehenden Beobachtungen gemacht wurden, liegt durch die wechselnde Fruchtfolge in der Feldmark meistens auf schwach pseudovergleyten Parabraunerden auf Löß, in einem Fall jedoch auf Griserde (Humusverfrachtung in den B-Horizont). Für den Wasserhaushalt in quantitativer Sicht bestand wenig Unterschied zwischen den einzelnen Profilen.

Auffallend war, daß die Beregnung von Rüben auf diesen schweren Böden oft zu Mißerfolg führte, indem sich der Rübenertrag gar nicht oder nur wenig hob, der Zuckergehalt dabei aber so stark senkte, daß für den Zuckerertrag (= Rübenertrag x Zuckergehalt) ebenfalls keine Steigerung zu verzeichnen war. Einen Erfolg brachte die Beregnung stets nur für den Blattwuchs, der für die Mehrzahl der Rübenbetriebe jedoch auch ohne Beregnung ausreicht.

Die Suche nach kritischen Stadien des Rübenbestandes (in Anlehnung an die vegetative und die generative Phase bei einjährigen Kulturen) brachte keine

x) Göttingen, Baurat-Gerber-Straße 7

Erklärung. Die Mißerfolge waren weniger groß bei Beregnungsgaben unter 50 mm und wurden leidlich ausgeglichen, wenn vor der Ernte noch mehrere Wochen mit trocken-warmer Witterung auftraten. Schließlich schälte sich, in Zusammenarbeit mit dem Arbeitskreis für Feldberegnung bei der Landwirtschaftskammer Hannover, der Agrarmeteorologischen Beratungsstelle Braunschweig-Völkenrode und dem dortigen Institut für Bodenbearbeitung, eine relative einfache quantitative Betrachtung des Boden-Wasser- und -Lufthaushaltes als stichhaltig heraus.

Das Porenvolumen der schweren Böden liegt in der Krume bei 50 %, unterhalb der Bearbeitungsgrenze und in Verdichtungshorizonten jedoch unter 45 %. Das diesjährige Göttinger Feld hatte im unteren Teil des noch gut durchwurzelten A-Horizontes 42 % PV. Da die Feldkapazität 35 Vol.% beträgt, verfügt der feuchte Boden hier nur über 7 % Luftporenvolumen - für Ackerböden ein bedenklich niedriger Wert, besonders da es sich überwiegend um Feinporen unter 100 my handelt. Das Luftporenvolumen kann erst mit Abnahme der Feuchtigkeit wachsen. Daraus erklärt sich für schwere Böden von vorneherein, daß das Optimum ihrer Wasserversorgung unterhalb der FK liegen muß. Auf Sandböden dagegen, deren FK unter 20 % liegt, kann auch in verdichteten Zonen die Luft nicht derart ins Minimum geraten; es spricht von dieser Seite nichts dagegen, sie möglichst feucht zu halten.

Die weitere Betrachtung geht davon aus, daß unter einer geschlossenen Pflanzendecke (die Rüben schließen die Reihen etwa Mitte bis Ende Juni) die Evaporation (unproduktive Bodenverdunstung) gegenüber der Transpiration vernachlässigt werden kann. Die Transpiration ist artspezifisch; Zuckerrüben folgen dem Verdunstungsanspruch der Atmosphäre, solange ihre Wurzeln genügend Wasser nachleiten können; ist der Bodenvorrat erschöpft, so welken sie schlagartig (Kartoffeln drosseln die Transpiration mit den Stomata schon vorher). Leichtes Nachlassen des Turgors in den Blattspitzen während der Mittagsstunden deutet dagegen lediglich auf ein vorübergehendes Zurückbleiben der Leitfähigkeit im Gefäßsystem gegenüber einem Verdunstungsanspruch von mehr als 0,5 mm/h. Dies kann auch in voll wassergesättigten Böden auftreten.

Der pflanzenverfügbare Wasservorrat in schweren Böden reicht nun bei einer gegebenen Transpirationsbeanspruchung sehr viel länger (größenordnungsmäßig doppelt so lange) als auf leichten Böden aus. Wenn auf Sand schon die Totwassergrenze erreicht ist, die Rüben nachhaltig welken und Beregnungseinsatz dringend notwendig ist, können auf einem benachbarten lehmi-

gen Schlag (solcher Bodenartenwechsel erschwert z.B. in der oberrh. Tiefebene die Bewirtschaftung) die Verhältnisse so liegen, daß gerade erst das Luftporenvolumen ausreicht und Beregnung noch verfrüht wäre. Muß sie aus arbeitswirtschaftlichen Gründen den ganzen Schlag mit allen Bodenarten umfassen, so muß das auf den schweren Bodenstellen zu dem genannten Mißerfolg führen.

Welche Profiltiefe ist bei der quantitativen Kontrolle in die Betrachtung einzubeziehen? Im Prinzip die Durchschwurzlungstiefe, die jedoch nicht immer genügend bekannt ist. Hinweise ergeben sich aus der Horizontfolge; Verdichtungshorizonte werden oft von den Wurzeln noch erobert, jedoch erschöpfen diese sich darin und vermögen nicht mehr, den durchlässigeren Untergrund auszunutzen. - Eine Rolle spielt der Witterungsverlauf während der Jugendentwicklung; Übernässung (mit weiterer Einschränkung des oben genannten minimalen Luftvolumens durch Sickerwasser) hindert rechtzeitigen Tiefgang der Wurzeln. - Empirisch hat sich herausgestellt, daß sich die Bilanzen des Wasserhaushalts in den obersten 60 cm des Bodens abspielen, solange keine Extreme auftreten. Bei einer längeren Trockenperiode stellt sich dann in der ganzen Durchwurzelungstiefe ein Gleichgewicht zwischen Durchwurzlungsintensität und pF des Bodens ein, d.h. die Austrocknung ist oben am stärksten und klingt nach unten hin langsam aus. Hat die Krume dabei die Totwassergrenze (in Göttingen ca. 12 - 15 Vol.%) erreicht, d.h. hat sie ein Defizit von 20 Vol.% unter FK, so folgt daraus, daß (bei der gegebenen geschlossenen Anfeuchtungsgrenze in Löß) 1 mm Niederschlag 5 mm Boden durchfeuchtet; selbst starke Gewitterschauer von 30 mm können auf diese Weise eine "trockene Zwischenzone" übriglassen. - Ohne Bohrkontrolle kann man daher den Feuchtigkeitszustand der Horizonte nicht verfolgen; summarisch quantitativ genügt jedoch ein Mitrechnen über die Klimatische Wasserbilanz, die nach den Göttinger Versuchen in den letzten 4 Jahren wohl Abweichungen von $\pm$ 10 % gegenüber der gemessenen Feuchte aufwies; jedoch die laufende Summe der Abweichungen tendierte immer wieder nach Null und bewies damit ihren statistischen Charakter und die Brauchbarkeit der Methode. Nach dieser quantitativen Betrachtung kann durch die Völkenroder Methode empfohlen werden, Rüben auf schweren Böden bei 30 - 50 % der pflanzennutzbaren Bodenfeuchte (100 % = FK minus Totwasser) zu halten, und zwar berechnet auf 60 cm Profiltiefe; auf leichten Böden sollten 50 % nicht unterschritten werden, weil die absolute Spanne bis zur Totwassergrenze zu klein ist.

Nach den Göttinger Erfahrungen seit 1959 sollte man schwere Böden vielleicht noch trockner halten. Eine echte Beregnungswürdigkeit ist, rückblickend, nur 1947 und 1959 entstanden. Zur Verdeutlichung soll eine detaillierte Schilderung der Vegetationsperiode 1959 gegeben werden.

Bis zum Schließen der Blätter (Mitte Juni 1959) waren durch Evaporation und Transpiration des jungen Bestandes 60 mm Bodenfeuchte verbraucht worden. Der Gesamtvorrat in 60 cm Tiefe beträgt 130 mm nutzbare Kapazität; die restlichen 70 mm reichten durch die stark negative klimatische Wasserbilanz nur knapp 4 Wochen (Faustregel: im langj. Durchschnitt fallen im Sommer täglich 2 mm Regen gegenüber einer Verdunstung von 3 mm, d. h. die klimat. Wasserbilanz weist monatlich -30 mm aus. 1959 jedoch war die Verdunstung oft fast doppelt so groß - ein Rübenbestand kann einem Verdunstungsanspruch bis zu 5 mm pro Tag nachkommen - und die Niederschläge fielen weniger als zur Hälfte des Durchschnittlichen). - Auf diese Weise war das Göttinger Feld 1959 Mitte Juli auf 60 cm Tiefe bis zum "Welkepunkt" ausgetrocknet. Die Rüben welkten jedoch nicht - lediglich der Blattzuwachs, der erst 3/5 seines durchschnittlichen Endgewichts erreicht hatte, kam zum Stillstand (Anm.: die Wachstumskontrolle erfolgte in einem eigenen ständigen Versuch des Inst.f.Zuckerrübenforschung mittels der sog. "10-täglichen Untersuchung".). In der folgenden Zeit zeigte sich, daß die Wurzeln auch unterhalb 60 cm erhebliche Aktivität entfalten konnten. Es ist anzunehmen, daß das Wurzelnetz im Bedarfsfall sukzessive nach unten ausgedehnt wird, sofern die Bodenstruktur an der Bearbeitungsgrenze die gewünschte Pfahlwurzelbildung ermöglicht hat.

Der Zuwachs des Rübenkörpers ging noch ungestört etwa 3 Wochen weiter; während dieser Zeit war der atmosphärische Verdunstungsanspruch um 50 mm größer als die Regenmenge. Die Feuchtigkeitsabnahme im Bodenprofil konnte hiermit jetzt nicht mehr Schritt halten, da die Transpiationsleistung der Pflanze auf diesen verlängerten Wegen nicht mehr ausreichte (potentielle Verdunstung größer als effektive), und da vermutlich die Nachleitung im Boden von unten etwas aushalf. (Dieser Faktor reicht jedoch in kritischen Fällen nicht zur Versorgung der Vegetation aus). Weiterhin ging die Durchwurzlung lezten Endes tiefer als sich mit dem 1 m-Bohrer messen ließ. Nachdem sich Anfang August der Zuwachs der Rüben verlangsamte, wurde trotzdem noch in vollem Umfang Zucker von der Flächeneinheit produziert, da der Zuckergehalt stark anzog. Erst Anfang September ging der Zuckerertragszuwachs ebenfalls zurück (als der Boden auf 90 cm Tiefe bis zum Welkepunkt ausgetrocknet war);

in dem völlig regenfreien Sept. kam er Ende des Monats zum Stillstand, und bei anhaltender Dürre waren Anfang Oktober die ersten Substanzverluste durch Veratmung nachweisbar. Immerhin hatte der Zuckerzuwachs bis Anf. Sept. dem Rekordjahr 1953 geähnelt, was vielleicht nicht der Fall gewesen wäre, wenn man nach dem "oberflächlichen" Eindruck der Dürre schon im Juli mit reichlicher Beregnung angefangen hätte. Wenn der gute Ansatz letzten Endes bei der Ernte zunichte wurde, so lag das daran, daß selbst ein weitgestecktes Optimum für die Austrocknung des schweren Bodens 1959 durch die anhaltende Dürre, die der von 1911 gleichkam, überschritten wurde.

Die Jahre 1960 - 62 brachten keine Extreme. Die Bodenfeuchte sank im 60 cm-Profil 1960 im Juli vorübergehend auf 50 % der nutzbaren Kapazität, 1961 erst im Sept. auf 60 %. 1962 lag sie ab Mitte Aug. bei 40 %, jedoch war es zu kalt für einen guten Zuwachs.

Ein trocken-warmer Frühsommer entstand erst wieder 1963. Vom 20. Mai an war die Klimatische Wasserbilanz stets negativ (mit Ausnahme einer Woche Mitte Juni, kurz vor dem Schließen des Blattes). Von Ende Mai bis Anf. August betrug das Klimatische Niederschlagsdefizit (d.h. gegenüber der Verdunstung, nicht gegenüber dem langj. Niederschlagsmittel) 150 mm. Allein nach dem Bestandesschluß erreichte dieser Wert innerhalb von 6 Wochen 113 mm, wobei die Totenwassergrenze auf eine Profiltiefe von über 50 cm heruntergeschoben wurde.

Welkeerscheinungen traten in dieser Periode nicht auf. Während der anschließenden Regenperiode im August bildete sich jedoch das Symptom starken N-Mangels heraus (Hellgrüne Farbe der Blätter). Dies mag als indirekte Dürrewirkung anzusehen sein, da zur Zeit der Haupt-N-Aufnahme, im Juli, die Krume zu trocken für gute N-Löslichkeit war, und da sich die Tiefendurchwurzelung in Abhängigkeit von dem ungünstigeren Profil weniger als 1959 ausgebildet hatte. Abschließend sei jedoch bemerkt, daß das N-Mangel-Symptom nicht auf den Zuckerertragszuwachs einwirkte. Wie 1959 wurde lediglich die Blattmasse reduziert, während für die Rüben selbst die Dürreperiode auf schweren Böden durchaus förderlich war.

Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft Bd. 1 S. 157-166, 1963

ANTHROPOGENE REDUKTIONSERSCHEINUNGEN AUF LANDWIRTSCHAFTLICH GENUTZTEN SCHWEREN BÖDEN

G. Spannagel[x)]

Das folgende Referat bringt nicht die Ergebnisse einer abgeschlossenen Arbeit, sondern will aufzuzeigen versuchen, welche Aufgaben der Angewandten Bodenkunde durch das Auftreten von Reduktionserscheinungen gestellt sind, die das Wachstum unserer landw. Kulturpflanzen schädigen. Sie sind zumeist durch menschliche Einflußnahme entstanden und haben in den vergangenen Jahren in einem bisher unbekannten Maße zugenommen.

Bekannt waren auch schon zur Zeit reiner Pferdeanspannung Reduktionen, die sich infolge zu nasser Bearbeitung mit bläulichen Bodenverfärbungen anzeigten. Sie blieben aber vereinzelt. Eine Vermehrung jener in der bodenkundlichen Literatur kaum behandelten anthropogenen Reduktionen trat mit der zunehmenden Mechanisierung des Ackerbaus und der Bodenmeliorationen ein.

Nach dem ursächlichen Anlaß gliedern sich die Reduktionserscheinungen wie folgt:

I bei zu hoher Bodenfeuchte

1. durch Bodendruck von Bearbeitungsgeräten und landw. Maschinen bei zu starker Wassersättigung des Bodens
2. durch Einpflügen org. Stoffe bei Bodennässe
3. durch Staunässe über verdichteten Zonen in der Ackerkrume (Pflugsohlen)

x) 44 Münster/W., Joseph-König-Institut, v. Esmarchstr. 12

4. durch länger währende Überstauung oder Überflutung

5. durch Pressungsdruck von Planierraupen, Baggern, Dränagemaschinen, Manöverfahrzeugen usf.

II infolge unzuträglich hoher Abwassergaben beim schnellen Anwachsen der Bevölkerung und der Industrie

III durch Gase

1. Grubengas (Erdgas)
2. Leuchtgas

Im morphologischen Bild treten die genannten Reduktionen in Erscheinung als "Reduktionsnester" und als "Reduktionsbänke" in den Ackerkrumen und vereinzelt auch im Unterboden. Dort kann es sich auch um geschlossene "Reduktionshorizonte" handeln, die auf dem Staukörper aufsitzen und bis an die Krumen heranreichen. Es wird vorzugsweise durch Abwasser sozusagen ein künstlicher Gley (Naßgley) gebildet.

Um diese Zusammenhänge möglichst deutlich zu machen, folgen hier eine Reihe im Laufe der Tätigkeit als Bodenspezialist entstandener Farblichtbilder. Sie sollen neben der großen Mannigfaltigkeit der Reduktionen auch darstellen, wie sich die Bilder anthropogener Reduktionen im Laufe der Jahre verändern. Es ist wesentlich, sich hierfür eine möglichst sichere Vorstellung zu verschaffen, um als Bodenberater und vordringlich als Sachverständiger Aussagen machen zu können.

Für die weiteren Ausführungen sei zunächst daran erinnert, daß in der Farbansprache der Bodenreduktionen das Eisen^{II}-Silikat grünlich, das Eisen^{II}-Phosphat (Vivianit) bläulich und das Eisen^{II}-Sulfid schwarz, in geringerer Konzentration blaugrau erscheinen. In dem jeweiligen Grade, in dem das Eisen^{II} verlagert wird oder oxydiert, treten zahlreiche Farbvariationen in Erscheinung. Diese Skala wird durch die Zustände der Feuchte oder der Austrocknung noch vermehrt.

Aus dem Wechsel von Staunässe und extremer Austrocknung oder auch aus einem weniger einschneidenden Wechsel zwischen extremer Staunässe und normaler Bodendurchfeuchtung entsteht vor allem auf schluffreichen Böden die Bildung konzentrierter Eisen^{III}-Hydratrinden, die nur so zu deuten sind,

daß Eisen^{II}-Hydrate sich in Richtung auf Kluft- und Schwundflächen verlagern. Lessivierungsvorgänge scheiden bei diesen anthropogenen Vorgängen fast immer aus. Es fehlen noch umfassende Laboratoriumsuntersuchungen über die Prozesse die sich hier im einzelnen abspielen. Dankenswerte Ansätze liegen vor (1). Die Mikromorphologie wird noch klärende Aussagen machen müssen.

Meist wird die Perkolation auf Grund von Schutzkolloidwirkung oder Chelatbildung erfolgen (2 u. 3). - Vielleicht ist im Zusammenhang der Bildung extremer Eisen^{III}-Hydratrinden auch Laatsch (3) zu folgen, wenn man annimmt, daß in Verfolg der Einwirkung organisch angereicherten Abwassers oder auch in reduzierten, humusreichen Mineralkrumen amphotere Gele entstehen, in denen das Eisenhydrat sowohl in freier wie auch in wechselseitiger Bindung vorkommt. Gegenüber dem Aluminiumhydrat wird das Eisenhydrat als schwächere Base weniger mit Kieselsäure reagieren und zum größten Teil als Eisen^{III}-Hydrat (Metaferrihydroxyd: α-FeO(OH) = Goethit) auskristallisieren (4).

Wenn man bei den Reduktionsvorgängen einmal mit einer Reduzierung von solchem Eisen^{III} rechnen muß, das an Ort und Stelle als Eisen^{II} verbleibt und zum anderen - und dieses ist sehr häufig der Fall - Eisen^{III} als Ferroeisen verfrachtet wird, so zeigen bei Austrocknung helle, oft fast weiße Farben der Bodenpartien zwischen den entstandenen dunkelbraunen Eisen^{III}-Rinden, ob es sich mit Sicherheit um eine Verfrachtung des Eisen^{II} handelte oder nicht, worauf auch Blümel in anderem Zusammenhange schon hingewiesen hat (4). Daß in den Eisenhydratrinden nur eine einfache Oxydierung des nicht verfrachteten Eisen^{II}-Hydrats vorliegt, kann nur für ganz besonders eisenreiche Böden angenommen werden. Höhere Schluffanteile scheinen die Eisenhydrat-Rindenbildung zu fördern.

Um eine Vorstellung sowohl von der Intensität wie auch der räumlichen Abgrenzung der Reduktionen zu erhalten, erschien es zweckmäßig, sich zweier Methoden zu bedienen, die bereits in westf. Bergbau- und Industriegebiet mit Erfolg bei der Klärung von Reduktionsschäden durch Gruben- und Leuchtgas von uns aus Verwendung gefunden haben. Auch diese Reduktionen entstehen durch Sauerstoffmangel und die Tätigkeit von Mikroorganismen, wenn das aus dem Boden aufsteigende Grubengas (vorwiegend Methan CH_4) die Luft verdrängt. Unter jenen anaeroben Bedingungen laufen dann die gleichen bisher in Rede stehenden Vorgänge

ab. Die im Lichtbild gezeigten Schadbilder sind sehr charakteristisch und ähneln in manchem den üblichen unter I 1 – 5 aufgeführten Reduktionserscheinungen. Jedoch tritt Eisenhydrat-Rindenbildung nur dort auf, wo außerdem Staunässe mitgewirkt hat. Die Bodenverfärbung ist graublau bis dunkelgrau und die Farbtönungsübergänge sind mehr diffuser Natur.

Unter den Bedingungen des Sauerstoffmangels führt der Abbau der org. Substanz entsprechend dem Ablauf des anaeroben Celluloseabbaues über Zwischenprodukte, die leicht zersetzliche Kohlenstoffverbindungen darstellen. Der Nachweis und die mengenmäßige Bestimmung dieser leicht angreifbaren org. Verbindungen kann daher als objektives Kriterium und als Maßstab für die unter dem Einfluß der Methanwirkung eingetretenen Reduktionsschäden benutzt werden (5).

Nach dem Verfahren der Wasseruntersuchung werden jeweils 50 g des gesunden und des reduzierten Bodens mit 500 ccm Wasser 1 Stunde geschüttelt und 50 ccm des Filtrats mit n/100 Kaliumpermanganatlösung titriert. Der Permanganatverbrauch gibt ein Bild von der Anreicherung an leicht zersetztlichen Stoffen und damit einen Ausdruck für den Grad der Reduktion.

Da es bekannt ist, daß unter reduzierenden Verhältnissen die Menge des zweiwertigen Mangans zunimmt, wurde zur Kennzeichnung des Reduktionsgrades die Bestimmung des sogen. aktiven Mangans nach der Methode von Schachtschabel (6) herangezogen.

Für einen Boden A: entbaster Geschiebemergel, lehmg. Sand, Pseudogley und einen Boden B: feinsandiger Lehm einer eutrophen Braunerde (Auenbodenähnlich mit stärkerer Lößeinmischung) wurden die nachstehenden Werte gefunden. Bei Boden-A handelt es sich um Reduktionsschäden infolge Ausfluß aus dem über Gelände verlaufenden Dortmund-Emskanal und bei Boden B um Reduktionen infolge Vernässungen, die durch den Bau einer Industrieleitung herbeigeführt wurden.

Analysenwerte

von 2 reduktionsgeschädigten Böden

Bezeichnung	pH in KCl	Aktives Mangan mg/kg Mn	Wasserlösl.org. Stoffe als $KMnO_4$-verbrauch des Wasserauszuges 1:10 für 100 g Boden	Korngrößen - Zusammensetzung 2-0,2 mm	0,2-0,02 mm	0,02-0,002 mm	<0,002 mm
Nicht reduziert							
Boden A	4,0	3,0	34,8 mg	33,6%	43,9%	8,0%	14,5%
Boden B	7,3		18,0	0,5	57,0	32,0	10,5
reduziert							
Boden A		6,5	56,3				
Boden B			29,4				

Für den Berater und Sachverständigen ist es von besonderer Bedeutung über die Intensität und die räumliche Abgrenzung hinaus Angaben über die Zeitfolge der Reduktionsveränderungen, vor allem auch über den zeitlichen Beginn der Reduktionen Aussagen machen zu können. Die Farblichtbilder bringen hierzu Erläuterungen. - Bei stark wassergesättigten Reduktionshorizonten jüngsten Datums wurde an der Profilwand ein perlmutterartiger Glanz beobachtet, der von solförmig kollodial verteilten $Eisen^{II}$-Hydrat herrührt, wie solche Reflektion auch auf Wasseroberflächen von Vorflutgräben - dort jedoch mehr als "Petroleum-Schimmer" - beobachtet werden kann. Bakterienschleime sind hierbei maßgeblich beteiligt.

Beim Studium der anthropogen entstandenen Reduktions- und Oxydrationsvorgänge fällt immer wieder auf, in welch zeitlich schneller Folge hier die sichtbar werdenden Prozesse ablaufen, im besonderen die der Eisenverfrachtung und -ausscheidung. Kurze Zeiträume von 1 1/2 - 4 Monaten sind häufig. Parallelen zum Mechanismus mancher Entwicklungsvorgänge beim Pseudogley bieten sich an.

Zur Beseitigung von Reduktionsschäden auf Kulturböden sind folgende Maßnahmen zu empfehlen: Regelung der Wasserführung - Aufkalkung - intensive mechanische und biologische Bodenlockerung - optimale Steuerung des Phosphorsäurespiegels.

Die vorgeschriebenen anthropogenen Reduktionen nehmen vordringlich in einem Arbeitsgebiet größeren Umfang an, wie es sich für den Verf. in Westfalen mit gehäufter Industrie, dem Bergbau, schnell wachsender Besiedlungsdichte und der vielfachen Umgestaltung vorhandener Landschaftsausformung darstellt. Es sollten hierzu Tatsachen und Möglichkeiten gezeigt werden, die sich in diesem Rahmen der Bodenforschung und der Praxis bieten.

Zusammenfassung

1. Es wurden die Reduktionserscheinungen anthropogener Art ursächlich gruppiert.
2. Die unterschiedliche Morphologie der Reduktionsvorkommen wurde skizziert.
3. Für die zahlenmäßige Fixierung der in Rede stehenden Reduktionen wurden die Methoden der "Bestimmung des "aktiven" Mangans nach Schachtschabel" und die "Bestimmung der wasserlösl. org. Stoffe nach dem Vorschlage von Balks und Wehrmann" erläutert.
4. Anhand von Farblichtbildern wurde vor allem ein Einblick in den zeitlichen Ablauf anthropogener Reduktionen wie Oxydationen und der Eisenverfrachtung gegeben.
5. Auch Erscheinungsformen von Reduktionen durch Abwasser und Grubengas wurden aufgezeigt und Maßnahmen zur Beseitigung von Reduktionsschäden benannt.

Schrifttum

(1) Scheffer, F., Meyer, B.u.Babel, U.: Zur qualitativen Erfassung der freien Eisenoxyde in Böden mittels Extraktionsverfahren. Z.Pflanz.Ern., Düng. Bodenkd.Bd.95, S.142-160. - (2) Mückenhausen, E.: Entstehung, Eigenschaften u.Systematik der Böden der Bundesrepublik Deutschland 1962.S.109 flgd. - (3) Laatsch, W.: Dynamik der mitteleuropäischen Mineralböden.4.Aufl.1957, S.70 flgd. - (4) Blümel, F.: Formen der Eisenhydratausscheidungen in Gleyen und Pseudogleyen. Z.Pflanz.Ern., Düng.Bodenkd.Bd.98, S.258-260. - (5) Balks, R. u. Wehrmann, O.: Schädigung der Kulturpflanzen durch Grubengas. Forschgs.Dienst, Bd.17, H.3, S.133-138. - (6) Schachtschabel, P.: Bestimmung des "aktiven" Mangans im Boden.Methd.Buch, Bd.1, 1955, S.199 f.gd. -

Farblichtbilder zum Referat Dr. Spannagel : "Reduktionserscheinungen auf schweren Böden". (Tagung Würzburg 1963)

Bild Nr.	Darstellung	Bodenkdl. Anmerkung
1 - 3	Reduktionsnester (1) u. Reduktionsbank (3) auf Geschiebelehm	Pseudogley (1)u. Braunerde (3) - Wurzelabweichung - (2) Färbung: Türkisblau (1) u. Graublau (2 u. 3)
4	Reduktionsbank unter Wiesenarbe. Anlehmg. Geschiebesand	Gley - Flora: Seggen u. Facalta - Red.Färbung: graublau u. schwarz. Red. Prozeß bis zur Bildung von Schwefeleisen.
5 - 6	Gehölzpflanzen-Schäden auf durch Planierungsraupen gepreßtem, reduz.Geschiebelehm. Bildung von Schwefeleisen u.weiterhin durch Oxydation von Schwefelsäure. Wurzelverätzungen.	Auftragsboden, Geschiebelehm. Red.Färbung: hellgrau-blau.
7 - 10	Wachstum bei Zuckerrüben auf durch Red.Bank geschädigte m u. ungestörten Boden, hierzu auch Spatenprofil	Geschiebelehm, Braunerde, Wassertau auf Pflugsohle. Red.Färbung: graublauschwärzlich.
11	Durch Reduktionen in der Ackerkrume geschädigter Zuckerrübenbestand	Braunerde, (Auenboden mit starker Lößeinmischung). Red-Färbung: blaugräulich.
12	Bodenprofil	
13	Verunkrautung auf reduz.Fläche: Hundskamille, Krötenbinse, einjährg. Rispe.	

14	Spatenprofil mit krasser Reduktionsbank Herbst 1961.	wie vordem
15 - 16	Gleicher Standort, Reduktionen Herbst 1962.	wie vordem. Intensität der Red. Tönungen zum mausgrau hin abklingend.
17 - 18	gleicher Standort, Reduktionsbild, Mai 1963 (Pseudogley vortäuschend)	
19	Reduktion ist durch längeren Oberflächenwassertau bis zur Bodenoberfläche erfolgt. März 1961.	Bodenverhältnisse wie vorher. Red. Färbung: hellblau.
20 - 21	Gleicher Standort, Spatenausstiche August 1962.	Intensität der Red.Verfärbungen zum mausgrau hin abklingend
22 - 23	Gleicher Standort, Spatenausstiche August 1963. Die alte Pflugsohle ist neu reduziert.	
24 - 26	Gleicher Standort. Wachstumsbilder August 1963.	
27	Regenwurmkanal wird vom Lumbricus terrestris (Großer Erdwurm) durch Red.Bank gegraben.	Sandiger Geschiebelehm Pseudogley, Red.Färbung: grauschwarz
28	Oxydation der Regenwurmkanalwand innerhalb der Red.Bank	Pseudogley, sonst wie vorher.
29	Eisen^{II}-Hydrat solförmig auf Waseroberfläche eines Vorflutgrabens. Petroleumschimmer. (Bei gewissen Bodenprofilen lassen sich frische Reduktionen (z.B. bei Bergbausenkungsschäden) als "Perlmutterglanz" beobachten.)	Bakterienschleime sind maßgeblich beteiligt.

30 - 33	Reduktionen infolge zu starker Abwasserbeschickung in einem anlehmg. bis lehmigen Sand.	Naßgley "künstlich entstanden".
34 - 37	Reduzierter Aufspülboden am Dortmund-Emskanal mit extremen $Eisen^{III}$-Hydratrindenbildungen	Schluffiger Lehm, Aufspülboden zur Vertiefung des Kanalbettes.
38 - 40	Wachstum auf Flächen, die durch Grubengas reduziert wurden u. Spatenprofil.	Feinsandiger Lehm, Löß, Parabraunerde. Red. Färbung: grauschwarz, auch mausgrau
41 - 42	Mächtige Reduktionshorizonte im tonigen Lehm, Aufoxydierung in Auswirkung des Trockensommers 1959.	Verwitterungssubstrate umgelagerten Geschiebemergels. Bodentyp nicht ansprechbar wegen langjähriger Vernässung durch Meliorationsfehler. Red. Färbung: hellblaugrau
43	Oxydierung reduzierten Bodens im einfachen Modell	

Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft Bd. 1 S. 167-177, 1963

10-JÄHRIGE VERGLEICHENDE UNTERSUCHUNGEN AN EINEM LEHM- UND EINEM TONBODEN IN DEN VÖLKENRODER BODENRINNEN

von W. Feuerlein[x)]

Die Völkenroder Bodenrinnen wurden 1951/52 mit dem Ziel angelegt, den Einfluß verschiedener Bodenbearbeitungsgeräte (Pflug, Fräse, Spaten) auf die Entstehung von Bodenverdichtungen, sog. "Pflugsohlen", zu untersuchen, und zwar ungestört von anderen, unkontrollierbaren Bewirtschaftungseinflüssen. Gleichzeitig sollten die Rinnen erlauben, das Verhalten der Böden unter gleichem Witterungseinfluß zu beobachten.

Die Rinnen sind je 50 m lang, 3 m breit und 1 m tief. Sie sind unten offen, so daß der eingefüllte Boden auf dem sandigen Völkenroder Untergrund aufliegt. Die Betonwände sind mit Schienen versehen, um die Bodenbearbeitungsgeräte mit einer Seilwinde entweder direkt oder an einen Rinnenwagen angehängt durch die Rinnen zu ziehen und so ein Betreten des Bodens zu vermeiden. Zwei Rinnen dienen den Dauerversuchen, eine dritte kurzfristigenUntersuchungen und der Erprobung von Geräten.

Die Böden wurden in 1 m Mächtigkeit den Feldern zweier landwirtschaftlicher Betriebe entnommen, auf denen gleichzeitig Dauer-Feldversuche angelegt wurden, Krume und Untergrund wurden möglichst sorgfältig in der gleichen Schichtfolge in die Rinnen eingebracht. Beide Böden können als repräsentativ für viele schwere Böden bzw. die degradierten Löße im Raume Braunschweig gelten. Dem Bodentyp nach enthält

Rinne I: Pseudogley-Parabraunerde aus Löß
Rinne II: Colluviale Braunerde aus Geschiebelehm und verwittertem Kalk- und Mergel-Gestein des Elm.

x) Institut für Bodenbearbeitung der Forschungsanstalt für Landwirtschaft, Braunschweig-Völkenrode, Direktor: Prof. Dr. H. Frese)

Tabelle 1

Korngrößenverteilung in %

Rinne	Grobsand mm 2 - 0.2	Feinsand 0.2-0.05	Schluff 0.05-0.002	Ton <0.002	Abschlämmbares < 0.02
I Löß					
Krume	4.9	4.9	77.9	12.3	33.7
Untergrund	3.1	3.4	76.6	16.9	38.8
II Ton					
Krume	16.9	8.9	49.1	26.0	45.4
Untergrund	16.7	9.7	48.6	25.0	42.5

Die Korngrößenbestimmung würde den Boden der Rinne II nicht als Tonboden, sondern als tonigen Lehmboden einstufen. Der Schwierigkeitsgrad des Bodens unterscheidet ihn jedoch nicht von einem schweren Tonboden, wie aus den Messungen des Bodenwiderstandes und aus den Erfahrungen in der Praxis hervorgeht. Er wird deshalb hier der Einfachheit halber als "Ton", der Boden der Rinne I als "Löß" bezeichnet.

Der Versuchsplan sah in beiden Rinnen je 10 Parzellen vor, von denen 7 gepflügt, 2 gefräst und eine gespatet wurde. Von den Pflugparzellen wurden zwei schon beim Einfüllen im Untergrund etwas verdichtet, eine erhielt eine vertiefte Krume, eine Parzelle wurde bis zur Oberfläche mit Untergrundboden angefüllt und eine weitere konnte mit einem schlepper-mäßig belasteten Reifen auf der Oberfläche und in der Furche zusätzlich gedrückt werden. Schließlich waren eine Pflug- und eine Fräs-Parzelle für zusätzliche Beregnung vorgesehen.

Die Bearbeitung erfolgte jährlich 2-mal, möglichst genau auf die festgelegte Tiefe von 20 cm. Beide Rinnen trugen jährlich einen (Sommer-)Pflanzenbestand, wobei Tief- bzw. Pfahlwurzler vermieden wurden. Einmal im Jahr wurden Proben für physikalische, chemische und mikromorphologische Untersuchungen entnommen, über die zu einem späteren Zeitpunkt berichtet werden soll.

Hier sollen nur einige Ergebnisse und Beobachtungen mitgeteilt werden, die das unterschiedliche Verhalten der beiden Böden widerspiegeln und aus denen Schlußfolgerungen für die Bewirtschaftung in der Praxis abgeleitet werden konnten.

Setzung der Böden

Trotz langjähriger Bearbeitung (jedoch ohne Betreten und Befahren!) hatte sich der Boden in beiden Rinnen bis 1963 noch nicht wieder auf die im Acker ermittelten Werte gesetzt. Vor allem der Tonboden hatte in der Bodenrinne noch ein wesentlich höheres Porenvolumen als auf dem Feld. Abgesehen von den, zwischen den Parzellen vorhandenen Unterschieden und ohne Berücksichtigung der wechselnden Einflüsse der Witterung zeigt sich, daß sich in beiden Rinnen Krume und Untergrund auf einen PV-Wert von angenähert 50 % PV gesetzt haben. Da im Acker der Tonboden wesentlich dichter als der Löß gelagert war, unterscheidet sich die Setzung der beiden Böden in den Rinnen erheblich. Die Tabelle 2 zeigt dies in grober Annäherung und im Durchschnitt aller Parzellen.

Tabelle 2 Unterschiede im Porenvolumen

Acker - Bodenrinne (1963)

Boden	Krume		Unter Bearb.-Grenze		Untergrund	
	Acker	Rinne	Acker	Rinne	Acker	Rinne
I Löß	43.0	+ 5.0	44.5	+ 2.5	48.1	± 0
II Ton	39.5	+ 12.5	36.2	+ 11.0	36.0	+ 12.5

Die Entwicklung des Porenvolumens und Luftgehaltes für die wichtigsten Bearbeitungsparzellen geht aus den Abbildungen 1 und 2 hervor.

Beobachtungen und Messungen über das Verhalten beider Böden

Auffällige Unterschiede zeigten sich von Versuchsbeginn an in der Pflugfähigkeit beider Böden. Während der Löß sich stets gut pflügen ließ, beeinträchtigte die lockere Lagerung die Pflugfähigkeit des Tonbodens. Er war nur auf der Schlepperdruck-Parzelle VIII stets pflugfähig, klebte aber auf den übrigen Parzellen, vor allem in feuchtem Zustand, leicht am Streichblech. Insgesamt lagen die Pflugwiderstände in den Rinnen wesentlich niedriger als auf dem Feld.

Tabelle 3

Pflugwiderstand in kp/dm^2

Boden	im Acker	in der Rinne
I Löß	55	35
II Ton	125	58

Eine Schneedecke schmolz stets zuerst auf der Ton-Rinne II, und zwar zunächst auf den Pflug- und dann auf den Fräsparzellen. Auf der Löß-Rinne I blieb der Schnee noch länger liegen und taute auch hier auf der Fräsparzelle zuletzt ab.

Die Frost-Eindringtiefe und das Maß der Bodenhebung durch Frost waren auf der Löß-Rinne stets größer als auf der Ton-Rinne.

Die Verschlämmung nach Regenfällen, besonders aber beim Auftauen im Frühjahr, war auf dem Lößboden wesentlich stärker als auf dem Ton-Boden, vor allem auf der Fräs-Parzelle. Dies hatte zur Folge, daß der Löß-Boden zur Herrichtung des Saatbettes, z.B. für Mais im Mai 1961, acht Arbeitsgänge gegenüber vier auf dem Tonboden benötigte.

Die Wasserdurchlässigkeit ist, wie Tabelle 4 zeigt, auf allen Parzellen des Ton-Bodens wesentlich höher als im Lößboden.

Tabelle 4

Wasserdurchlauf an der Bearbeitungsgrenze
mm Wassersäule je 20 Min.
Juli 1963, Mittel aus 120 Einzelmessungen

Boden	Spaten I	Fräse III	Pflug IV	Tiefe Krume VI	Untergrundboden VII	Schlepperdruck VIII	Verdichtet X
I Löß	4	8	1	7	2	1	1
II Ton	26	27	16	25	16	4	-

Man sieht z.B., daß der Wasserdurchlauf in der Schlepperdruck-Parzelle der beiden Böden stark und etwa im gleichen Verhältnis gedrosselt ist. Eine Auswirkung auf den Ernteertrag hatte dies nicht.

Luftgehalt und Abtrocknen

Nach dem Auftauen im Frühjahr oder nach schweren Regenfällen war der Luftgehalt im Tonboden zunächst nur etwa halb so hoch wie im Löß. Die Verhältnisse ändern sich aber bald, da der Tonboden oberflächlich schneller abtrocknet. Dies zeigen Messungen aus dem Frühjahr 1959.

Tabelle 5

Wassergehalt in Gew. %
Frühjahr 1959

Tiefe cm	I Löß Gew.%	I Löß Beurteilung	II Ton Gew.%	II Ton Beurteilung	Differenz Ton gegen Löß Gew.%
5 - 10	23.4	"naß"	18.3	"frisch"	- 5.1
10 - 15	23.2	"naß"	20.5	"feucht"	- 2.7
15 - 20	23.4	"naß"	25.9	"sehr naß"	+ 2.5

Während der Löß-Boden in der ganzen Krume noch gleichmäßig naß war, war der Ton-Boden oberflächlich abgetrocknet, jedoch in der tieferen Krume noch nasser als der Löß. Das frühere, oberflächliche Abtrocknen des Tonbodens erfordert wegen der darunterliegenden feuchteren Schicht eine sehr behutsame und flache Bearbeitung: Durchweg konnte die Bearbeitung auf der Löß-Rinne früher erfolgen.

Interessant sind in diesem Zusammenhang Untersuchungen über die Verdunstung der beiden Versuchsböden unter verschiedener Saugspannung. Sie wurden in einer Unterdrucklysimeter-Anlage in unmittelbarer Nachbarschaft der Bodenrinnen vorgenommen. Danach betrug die

Tabelle 6

Verdunstung im Trockenjahr 1959
aus 10-cm-Bodensäule bei 150 cm WS Saugspannung

Rinne	nach 40 Tagen	nach 134 Tagen
I Löß	210 mm	560 mm
II Ton	35 mm	76 mm

Der Tonboden verdunstete also nur 1/7 der Wassermenge des Löß-Bodens, brachte damit aber natürlich auch nicht genügend Wasser aus dem Untergrund an die Pflanzen heran, so daß die Kartoffelernte 1959 auf der unberegneten Pflug-Parzelle der Löß-Rinne 214 dz/ha, die der Ton-Rinne nur 160 dz/ha betrug. Der Beregnungserfolg 1959 war deshalb auf der Pflugparzelle im Ton auch höher (+ 99 %) als im Löß (+ 64 %). Siehe Tabelle 8 und 9. Aber selbst im nassen Jahr 1961 zeigen die Wasser-Bilanzkurven eines Unterdrucklysimeters von 25 cm Bodensäule und bei 150 cm WS zwischen dem 1. Juli und 31. Oktober für den Löß-Boden einen Wasserverlust von über 20 mm, für den Ton-Boden einen Wassergewinn von etwa 80 mm.

Unter den besonderen Struktur-Bedingungen in den beiden Rinnen haben Luft- und Wasserhaushalt in den einzelnen Parzellen offensichtlich einen besonderen Einfluß auf die Differenzierung des Pflanzenwachstums und der Erträge.

Pflanzenwachstum und Ertragsermittlung

Wie schon erwähnt, waren Ertragsermittlungen nicht der ursprüngliche Zweck der Versuchsanlage. Die vergleichende Beobachtung der Pflanzenentwicklung auf den verschiedenen Parzellen beider Rinnen ergab aber mancherlei interessante Aufschlüsse und wertvolle Hinweise, so daß auch die Erträge bestimmt wurden. Aufgang, Pflanzenentwicklung und Frträge waren auf der Löß-Rinne I fast stets wesentlich besser als auf der Ton-Rinne II. So betrug beim Mais im Jahr 1956 die

Tabelle 7

durchschnittliche Höhe der Pflanzen in cm

Rinne	Ø auf allen Parzellen	Ø auf der Druckparzelle VIII
I Löß	92	110
II Ton	57	73

Die Ernteerträge wurden auf den 15 m^2 großen Parzellen unter Auslassung der Ränder, jedoch ohne Wiederholung, ermittelt. Für exakte Feststellungen reichen diese Bedingungen nicht aus. Da aber der Boden sehr gleichmäßig eingefüllt und auch die Düngung sehr gleichmäßig vorgenommen worden war, darf angenommen werden, daß die Fehler-Streuung erheblich kleiner war als auf freiem Feld. Auch mag die 10-jährige Durchführung der Ermittlungen das Fehlen von Wiederholungen zum Teil ausgleichen. Trotzdem können die Ertragszahlen (Tab. 8 und 9) nur eine ungefähre Vorstellung von den Einflüssen der verschiedenen Behandlungen für Pflanzenwachstum und Ertragsbildung auf beiden Rinnen vermitteln.

Tabelle 8

Ernte-Relationen, Bodenrinne I

Jahr	Frucht	dz/ha = 100	I Spaten	II Fräse	III Fräse 1959 beregnet	IV Pflug 1959 beregnet	V Pflug	VI Vertiefte Krume	VII Untergrundboden	VIII Schlepperdruck	IX unten gedrückt	X unten gedrückt
1953	So.Gerste	Korn + Stroh	103	98	x	x	100	95	26	83	90	82
1954	Kartoffeln	453	103	94	x	x	100	102	78	111	113	112
1956	Futt. Mais	616	119	112	x	x	100	108	89	117	108	105
1957	Kohlrüben	668	93	98	x	x	100	92	82	102	97	95
1958	Futt. Mais	700	112	106	x	x	100	104	77	101	100	115
1959	Kartoffeln	214	110	113	173	164	100	88	63	96	77	77
1960	Kohlrüben	Befall	91	42	-	90	100	118	88	115	86	80
1960	So.-Blumen	535	96	99	101	99	100	91	69	85	96	92
1961	Fut. Mais	331	107	104	98	100	100	109	92	104	106	91
1962	Kartoffeln	324	123	111	111	107	100	115	107	115	108	111
	Ø		106	98	-	-	100	102	77	103	98	96

x) zusammengefaßt mit Parz. II bzw. V

Tabelle 9

Ernte-Relationen, Bodenrinne II

Jahr	Frucht	dz/ha =100	I Spaten	II Fräse	III Fräse 1959 beregnet	IV Pflug 1959 beregnet	V Pflug	VI Vertiefte Krume	VII Untergrundboden	VIII Schlepperdruck	IX unten gedrückt	X unten gedrückt
1954	Kartoffeln	457	84	94	x	x	100	99	75	98	96	93
1956	Futt. Mais	466	90	87	x	x	100	89	85	113	89	102
1957	Kohlrüben	667	93	81	x	x	100	98	89	93	91	87
1958	Futt. Mais	650	72	92	x	x	100	105	96	100	96	106
1959	Kartoffeln	160	86	96	159	199	100	93	75	75	89	84
1960	Kohlrüben	Befall	99	93	81	100	100	71	61	87	82	91
1960	So. Blumen	362	108	107	97	103	100	93	79	113	103	101
1961	Futt. Mais	280	108	116	109	100	100	110	93	118	109	104
1962	Kartoffeln	352	103	93	88	101	100	97	94	100	106	118
	Ø		94	95	-	-	100	95	83	100	96	98

x) zusammengefaßt mit Parz. II bzw. V

Die wichtigsten Schlußfolgerungen daraus sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt.

Tabelle 10

Ertragsvergleiche zwischen beiden Rinnen

	Rinne I	Rinne II
Durchschnitt aller Früchte und Jahre	100	88
4-jähriger Durchschnitt von Kartoffeln und Kohlrüben (der Luftbedarf dieser beiden Früchte wurde im Tonboden noch besser befriedigt als im Lößboden, nicht jedoch der Wasserbedarf in Trockenzeiten)	100	102
Durchschnitt der Kartoffeln im Trockenjahr 1959	100	75
Gegenüber der Pflugparzelle V (= 100) ergaben im Durchschnitt aller Früchte und Jahre		
die Krumvertiefung VI	102	95
der Untergrundboden VII	77	83
der Untergrundboden VII nur 1962, d. h. nach 10 Jahren	107	94
der Schlepperraddruck VIII	103	100
beim Einfüllen verdichteter Untergrund IX und X	97	97
die Spatenbearbeitung I	106	94
die Fräsenbearbeitung II	98	95

Mit den geschilderten Verhältnissen sollten zwei repräsentative Böden vor allem im physikalischen Bereich charakterisiert werden. Ebenso wichtig mögen auch andere z.T. in ursächlichem Zusammenhang damit stehende

Werte, z.B. die des Humusabbaus, der Nährstofflöslichkeit oder der Tonverlagerung, sein. Für die Bewirtschaftung der beiden Böden ergeben sich daraus eine Reihe von Anhaltspunkten.

Literatur

W. Czeratzki — Möglichkeiten zur Messung der Wasserbewegung im Boden mit Unterdrucklysimetern
Heft 3: Berichte aus der Landesanstalt für Bodennutzungsschutz Bochum 1962

W. Czeratzki und H.J. Altemüller — Salzanreicherung durch Bodenverdunstung im Trockenjahr 1959
Heft 2: Landbauforschung Völkenrode 1960

Bild 1

Bodenrinne I Löß

Krumenschicht
Porenvolumen und Luftgehalt

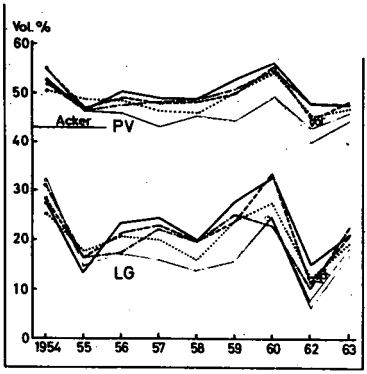
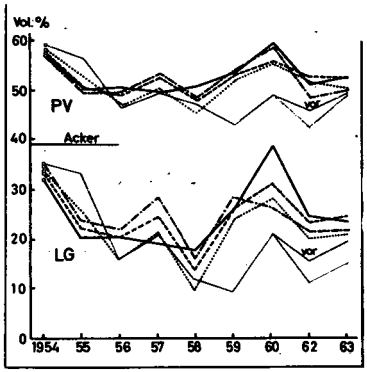


Bild 2

Bodenrinne II Ton

Krumenschicht
Porenvolumen und Luftgehalt



---- Spaten
..... Fräse
—— Pflug normal
—— Pflug Untergrundboden
—— Pflug Schlepperdruck

Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft Bd. 1 S. 179-184, 1963

DIE WIRKUNG DES FROSTES AUF DIE STRUKTUR DES TONBODENS

von H. Frese und W. Czeratzki[x)]

Zwischen der Einwirkung des Frostes auf die Bodenstruktur und der Bearbeitung besonders der schweren Böden bestehen enge Beziehungen. Einerseits werden die Einwirkungsmöglichkeiten des Frostes wesentlich davon bestimmt, wie der Boden vor Winter bearbeitet wurde. Andererseits kann eine intensive Frostwirkung die mechanische Bearbeitung schwerer Böden sehr erleichtern und vereinfachen. Eine genaue Kenntnis der Zusammenhänge zwischen Korngrößenzusammensetzung, Lagerungsdichte und Wasserhaushalt der schweren Böden und der Wirkungsweise des Frostes ist deshalb nicht nur für manche wissenschaftlichen Untersuchungen auf dem Gebiet der Bodenphysik und Bodenbearbeitung, sondern auch für die praktische Bewirtschaftung dieser Böden von Bedeutung.

In unserem Institut sind diese Fragen über mehrere Jahre eingehend untersucht worden. Der Bericht hierüber stützte sich auf ein umfangreiches Bildmaterial, das hier leider nicht wiedergegeben werden kann. Die vorgetragenen Ergebnisse und Schlußfolgerungen sollen aber in knapper Form zusammengefaßt werden.

Zahlreiche Felduntersuchungen sowie Modellversuche (vor allem Filmaufnahmen des Gefriervorganges) haben gezeigt, daß folgende Faktoren für die Einwirkung des Frostes auf die Bodenstruktur bestimmend sind:

1. Dauer, Intensität und Temperaturgang des Frostes
2. Korngrößenzusammensetzung des Bodens
3. Dichte und Gleichmäßigkeit der Lagerung des Bodenmaterials
4. Wassergehalt der vom Frost erfaßten Schicht

x) Institut für Bodenbearbeitung der Forschungsanstalt für Landwirtschaft, Braunschweig-Völkenrode

5. Ausmaß der Wassernachlieferung aus ungefrorenen Schichten oder dem Grundwasser

6. Porengrößenverteilung bzw. Saugspannungsverhältnisse

Entscheidend für die Bildung einer typischen Froststruktur, d.h. deutlich voneinander abgegrenzter Gefügeelemente, ist, daß Eis in Schichten zwischen dem Bodenmaterial auskristallisiert. Dieser Vorgang spielt sich allerdings nur in feinkörnigen Böden ab, in denen dabei eine heterogene Froststruktur entsteht, während in grobkörnigen Böden Wasser und Boden zu einer homogenen Masse zusammenfrieren. Die Entwässerung des zwischen den Eislinsen befindlichen Bodenmaterials setzt Saugkräfte frei, die zu einem Wasserhub aus der frostabgewandten Schicht in Richtung auf die Frostgrenze führen. Solange der Wasservorrat im Vorfeld der Frostgrenze hierfür ausreicht oder aus tieferen Schichten ständig genügend Wasser nachgeliefert werden kann, setzt sich der Vorgang der Eislinsen-Bildung mit dem Fortschreiten der Frostgrenze nach der Tiefe zu fort.

Ist dagegen das Bodenmaterial, in das der Frost vordringt, nicht feucht genug, um Wasser für die Eislinsenbildung zu liefern, oder dringt die Frostgrenze schneller in den Boden ein als Wasser aus der Tiefe nachgeliefert werden kann, dann friert auch der feinkörnige Boden homogen.

Die Stärke der gebildeten Eislinsen wird im wesentlichen durch zwei Faktoren bestimmt. Je mehr Wasser vorhanden ist, bzw. je schneller es nachgeliefert werden kann, und je langsamer der Frost in den Boden vordringt, umso mehr Zeit steht für die Ausbildung dicker Eislinsen zur Verfügung. Je niedriger die Temperatur ist, je schneller also der Frost eindingt und je geringer die Wasseranlieferung wird, um so schwächer sind die Eislinsen ausgebildet. Diese Zusammenhänge sind so deutlich ausgeprägt, daß sich wechselnde Gefriergeschwindigkeiten, z.B. durch eine größere Temperatur-Amplitude zwischen Tag und Nacht, einwandfrei an der wechselnden Stärke der Eislinsenbildung im Boden ablesen lassen.

Ausschlaggebend für die Art der Froststruktur sind Korngrößenzusammensetzung und Lagerungsdichte des betreffenden Bodens. Von ihnen hängen nämlich die Porengrößenverteilung und damit die Saugspannungsverhältnisse bzw. die Voraussetzungen für die Wasser-Förderung im Boden ab.

In vorwiegend feinsandig-schluffhaltigen Böden bilden sich, vor allem bei gleichmäßiger und verhältnismäßig dichter Lagerung, die Eislinsen parallel der Eindringfront des Frostes aus und führen so zu einer horizontalen, schiefrig-feinplattigen Froststruktur. Sie entspricht derjenigen, die wir am Profil vieler aus Löß entwickelter Böden finden. In Böden mit höherem Tongehalt bilden sich dagegen neben horizontalen vorwiegend senkrechte Eislinsen, die dann zu einer heterogenen, meist polyedrischen, Froststruktur führen, wie sie für viele Tonböden charakteristisch ist.

Diese typischen Strukturformen zeigen sich aber nur in gleichmäßig dicht gelagerten Zonen. Wir finden sie deshalb vorwiegend in der Zone unmittelbar unterhalb der bearbeiteten Ackerkrume, die häufig etwas dichter gelagert ist als Krume und tieferer Untergrund. Hier ist auch im allgemeinen der für eine Eislinsenbildung erforderliche Wassernachschub gesichert und auch schwächere Fröste dringen häufiger bis in diese Tiefe vor. In lockeren Schichten, vor allem der gepflügten Krume, ist das Strukturbild sehr viel weniger deutlich ausgeprägt. Hier herrschen andere Voraussetzungen für die Frosteinwirkung, da die Wassernachlieferung häufig gestört ist und der Frost nicht nur von oben, sondern von mehreren Seiten angreifen kann. Die typisch polyedrische Struktur tritt dann, ähnlich wie die geschichtete beim Löß, nur noch in größeren kompakten Schollen auf. Trotzdem kann die zerkleinernde Wirkung des Frostes gerade in der locker liegenden, gepflügten Krume des Tonbodens bei entsprechendem Wassergehalt besonders intensiv sein. Dies zu erreichen, ist ja auch eines der ackerbaulichen Ziele einer grobscholligen Winterfurche auf schweren Böden.

Daß die Bildung ausgeprägter Froststrukturen durch Eislinsenbildung an einen ausreichenden Wassernachschub gebunden ist, kann sich aber unter ungünstigen Bedingungen im Fürhjahr ackerbaulich sehr nachteilig auswirken. Die starke Wasseranreicherung in der gefrorenen Schicht führt nämlich dann zu einer völligen Übernässung, wenn das Auftauen nicht langsam und bei trockener Witterung erfolgt. Fallen auf einen oberflächlich abgetauten Boden, der darunter noch gefroren ist, Niederschläge, dann kann die gebildete Froststruktur wieder völlig zerstört werden und der Boden stark verschlämmt ins Frühjahr gehen.

Diese Gefahr ist besonders groß bei den feinsandig-schluffigen Böden, bei denen die Wasserförderung unter der Einwirkung des Frostes größer

ist als bei Sand- und Ton-Böden, und deren Stabilität schon von Natur aus geringer ist. So sind z.B. die in einem Löß gebildeten Frostaggregate durchweg verhältnismäßig klein und wenig wasserfest. Dagegen zeigt eine durchgefrorene Tonscholle an der Oberfläche zwar ebenfalls feine, grießartige, darunter jedoch gröbere, scharfkantige, ineinander verzahnte polyedrische Aggregate von durchweg höherer Wasserbeständigkeit. Die durch Frost zermürbten Schollen eines Tonbodens erfordern zur weiteren mechanischen Bearbeitung deshalb verhältnismäßig geringe Kräfte. Wegen ihrer lockeren Lagerung trocknen sie oberflächlich frühzeitig ab, verlangen aber trotzdem eine nur flache und behutsame Bearbeitung, weil die tieferen Schichten zur gleichen Zeit noch stark vernäßt sein können.

Besonders intensiv ist die oberflächliche Zerkleinerungwirkung und die Strukturbildung durch Frost in Zeiten von Wechselfrösten, also zu Beginn des Winters, häufig aber vor allem im zeitigen Frühjahr. Hierbei macht sich eine Erscheinung, die durch die Zufuhr von Wasser in die gefrorene Schicht bedingt ist, unter Umständen besonders nachhaltig bemerkbar: Die Bodenhebung oder das Auffrieren durch Frost. Dies ist dadurch bedingt, daß zu dem ursprünglich vorhandenen Wasser während des Gefrierens noch weitere Wassermengen in die befreffende Zone gehoben werden. Zu dieser Volumenvermehrung kommt außerdem die Ausdehnung des Wassers beim Übergang in Eis um max. 9 %. Bei häufigerem Wechsel von Frieren und Tauen, wie es im Frühjahr nicht selten ist, wird deshalb der Boden nahe der Oberfläche wiederholt angehoben, "er friert auf". Dieser Prozeß kann sogar dazu führen, daß Steine um mehrere Millimeter gehoben, flach eingebrachte Samen bis an die Bodenoberfläche hochgebacht werden. Diese dem Praktiker wohlbekannten Erscheinungen, deren Ursachen sich aus den dargelegten Zusammenhängen unschwer erklären lassen, verdeutlichen besonders gut die Dynamik, der vor allem die schweren Böden unter dem Einfluß des Frostes unterliegen. Nur ihre genaue Kenntnis macht es möglich, die nachteiligen Begleiterscheinungen möglichst klein zu halten, die ackerbaulich wertvollen Frostwirkungen dagegen zunächst durch geeignete Bodenbearbeitungsmaßnahmen zu fördern, um sie dann für eine Einschränkung des Bearbeitungsaufwandes zu nutzen.

Literatur

BESKOW, G.: Frostbildung und Frosthebung. Der Straßenbau, 27, 53 (1936)

CZERATZKI, W.: Zur Wirkung des Frostes auf die Struktur des Bodens. Z.PflErnähr., Düng., Bodenkde. 72. (117.) Band, H. 1, 1956, S. 15-32

" Phänomen - Bodenfrost. Landbau-Forschung Völkenrode. 6. Jg., H. 4, 1956, S. 86-87.

CZERATZKI, W.: u. H. FRESE Kinematographische Untersuchungen zur Strukturbildung. Tagungsbericht vom VI. Internat.Bodenkundl. Kongreß Paris 1956. S. 173-178.

DOMBY, E.W.: u. H. KOHNKE The effect of freezing and thawing on structure of the soil surface. Agron. Jor. 47, 175 (1955)

DÜCKER, A.: Untersuchungen über die frostgefährlichen Eigenschaften nichtbindiger Böden. Forschungsarbeiten aus dem Straßenwesen, Bd. 17. Volk und Reich, Berlin 1939.

FRESE, H.: Zur Bildung von Makro-Gefüge-Typen im Ackerboden durch atmosphärische Einflüsse. - IN: Probleme der Krümelstabilitätsmessung und der Krümelbildung.1958. S. 117-127. (Deutsche Akad. der Landwirtschaftswissenschaften zu Berlin. Tagungsberichte Nr. 13)

JUNG, E.: Untersuchungen über die Einwirkung des Frostes auf den Erdboden. Z.Pflanzenern., Düng., Bodenkunde 19, 326 (1931)

JUNG, E.: Weiterer Beitrag zur aggregierenden Einwirkung des Frostes auf den Erdboden. Z.Pflanzenern., Düng., Bodenkunde 24, 1 (1932)

RUCKLI, R.: Der Frost im Baugrund. Springer, Wien 1950.

SLATER, C.S. u. HOPP, H.: Winter decline of soil structure in clean-tilled soils. Agron.Journ.43, 1 (1951)

TABER, S.: Freezing and thawing of soils as factors in the destruction of road pavements. Publ. Roads 11, 113 (1930)

TORSTENSSON, G. u. ERIKSSON, S.: Über die Bedeutung des Bodenfrostes für die Strukturbildung bei Lehm- und Tonböden. K. Lantbruks acad. Tidskr. 81, 127 (1942)

CZERATZKI, W.: Bodenstrukturbildung durch Frost (Modellversuche). Wiss. Film C 724/1956, erhältl. beim Institut für den Wiss. Film, Göttingen, Nonnenstieg 72

Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft Bd. 1 S. 185-194, 1963

QUELLUNG UND SCHRUMPFUNG UND IHRE ZENTRALE BEDEUTUNG BEI WECHSELNDER AUSPRÄGUNG WICHTIGER STRUKTUREIGENSCHAFTEN

H. Kuntze [x)]

Einleitung:

Die von extremen Wechsel der Struktureigenschaften begleitete Strukturdynamik tonreicher Marschböden steht mit den Vorgängen des Schrumpfens und Quellens in Abhängigkeit zum Wasserhaushalt. Wechselnd feuchter Witterungsgang mit korrespondierenden Grundwasserschwankungen ermöglichen in den einzelnen Jahren eine unterschiedlich tiefe Schwundrißbildung. Allein entlang dieser Lockerungszonen ist eine tiefere Wurzelausbreitung in einem sedimentär sehr dicht lagernden Boden möglich. Die Ertragsbildung ist deshalb nach trockenen Jahren durch Zunahme des nutzbaren Bodenvolumens auf diesen Böden besonders günstig.

Folgen wiederum feuchte Witterungsperioden, ist bald ein Nachlassen dieser günstigen Strukturbildungen zu erkennen. Der wieder gequollene Boden ist dann weniger tiefreichend belüftet, durchlässig, durchwurzelt und wird zunehmend ertragsunsicher. Durch regulierende Eingriffe in den Bodenwasserhaushalt ist man bestrebt, die positiven Auswirkungen der Schrumpfung zu fördern, die negativen der Quellung möglichst einzuschränken. Geringere Ertragsschwankungen auf gedränten und meliorativ gedüngten Böden - selbst unter extremen Witterungsbedingungen - dürften nicht zuletzt die Folge einer dadurch verminderten Strukturdynamik sein.

Die wechselnde Ausprägung wichtiger Struktureigenschaften dürfte damit in großer Abhängigkeit zum Quellungsdruck stehen. Es ist uns gelungen, eine

x) Dr. H. Kuntze, Grünlandlehranstalt u. Marschversuchsstation, Infeld/Nordenham

brauchbare Meßmethodik zum Feststellen des überaus wichtigen Quellungsdruckes zu entwickeln. In der Zeitschrift Pflanzenernährung, Düngung und Bodenkunde Bd. 96, S. 97, 1962 ist diese Methode beschrieben (1).

Den Quellungsdruck beeinflussende Bodeneigenschaften

Die den Quellungsdruck - gemessen in kg/cm^2/100 g natürlich gelagerten, lufttrockenen Bodens - beeinflussenden Faktoren sind recht viele. Stärkste Einflüsse sind von den Tonkomponenten zu erwarten. Absoluter Tongehalt ($<2\ \mu$) und Quellungsdruck korrelieren daher signifikant mit $r = +0,85$. Bedenkt man, daß in natürlichen Böden durch Beimengungen anderer Texturkomponenten eine regellose, nicht parallele Lagerung der Tonteilchen mit unregelmäßig geformten Hohlräumen vorliegt, so dürfte damit die von den Wasseranlagerungen auf den Tonmineraloberflächen und zwischen den Schichtpaketen ausgehende innerkristalline Quellung zu einem nicht unerheblichen Teil durch Reibungskräfte und in sogen. toten Volumen (2) verloren gehen. Dabei müssen die nach dem Prinzip der Füllung kleinster Hohlräume bei Wasseraufnahme in ausgetrockneten Böden von eingeschlossener, komprimierter Luft in gröberen Hohlräumen ausgehenden volumenverändernden Kräfte von der echten Quellung isoliert betrachtet werden.

Es wurden daher reine Tonminerale verschiedener Herkunft, abgesiebt auf maximale Teilchendurchmesser $<60\ \mu$, nach Wasseraufbereitung in Stechringen zu kompakten Monolithen geformt. Nach langsamen Wasserentzug bei Zimmertemperatur wurde in gleicher Weise wie mit natürlich gelagerten Bodenproben der Quellungsdruck ermittelt. Nachstehend sind die Meßergebnisse von Mittelwerten aus jeweils 3 Parallelen der verschiedenen Tonminerale nach Gruppen geordnet aufgeführt:

Tabelle 1: Quellungsdruck von Tonmineralen

Tonmineral - Herkunft	kg/cm^2/100 g (lufttr.)
Kaolinit - Flensburg	0,385
Kaolinit - Lamar Pit, Dakota	0,430
Halloysit - Eureka, Utah	0,245
Ø Kaolinitgruppe	0,353

Tonmineral - Herkunft	kg/cm^2/100 g (lufttr.)
Illit-Fithian, Illinois	0,550
Bentonit - Geisenheim	4,07
Nontronit - Garfield	4,23
Montmorillonit - Osage, Wyoming	4,21
∅ Montmorillonitgruppe	4,13

Sorbierte Kationen und Anionen mit unterschiedlich großen Hydrathüllen können des weiteren innerhalb einer bestimmten Tonmineralgruppe den Quellungsdruck erheblich differieren lassen. So wurde z.B. mit Geisenheimer Bentonit bei 60 %iger Ca-Sättigung ein Quellungsdruck von 2,94 kg/cm^2/100 g gemessen, bei 68 %iger Na-Sättigung dagegen 5,20 kg/cm^2/100 g.

Aus einem Knickmarschboden isolierter Ton unterschiedlicher Belegung läßt den Einfluß der einzelnen Kationen auf den Quellungsdruck noch deutlicher erkennen.

Tabelle 2: Einfluß unterschiedlicher Kationenbelegung auf den Quellungsdruck des Tones[x)]

Mg-Ton	1,75 kg/cm^2/100 g (lufttrocken)
H-Ton	1,45 "
Na-Ton	1,42 "
K-Ton	0,84 "
Ca-Ton	0,71 "

Dieses gegensätzliche Verhalten von Mg- und Ca-Tonen kommt auch bei Untersuchung an natürlich gelagerten Marschböden gleichen Rohtongehaltes, aber unterschiedlichen Ca/Mg-Verhältnisses zum Ausdruck (mit den oben angeführten Einschränkungen einer möglichen Minderung abso-

x) Die Proben wurden freundlicherweise von Herrn Dr. Wolkewitz zur Verfügung gestellt.

luter Meßergebnisse infolge Lagerungsverhältnisse). Es wurden - abhängig von Rohtongehalt - bei Böden mit niedrigeren Tongehalten besser gesicherte, negative Korrelationen (r = - 0,80) zwischen Ca/Mg und Quellungsdruck gefunden (1). Mit Zunahme des Tongehaltes wird dieser selbst von stärkerem Einfluß als die Kationensorptionsverhältnisse, ohne die Bedeutung dieser für Marschböden wichtigen bodenchemischen Eingenschaft schmälern zu wollen.

Die bisherigen Ausführungen stützen sich auf Untersuchungsergebnisse, die mit absolut lufttrockenen Bodenproben gewonnen wurden. Nun hat aber der mit Anlaufen eines Quellungsvorganges bereits vorhandene Bodenfeuchtegehalt ebenso einen nicht zu unterschätzenden Einfluß auf die Höhe des Quellungsdruckes. Andererseits werden unter natürlichen Verhältnissen der Marschen - selbst unter den extrem trockenen Bedingungen des Jahres 1959 - selten Bodenfeuchtegehalte<2 . Hy gemessen, dazu nur begrenzt auf den flachen Krumenraum. Mit abnehmenden Bodenfeuchtegehalt nimmt, wie Tabelle 3 an einem Beispielt zeigt, erwartungsgemäß der Quellungsdruck zu.

Tabelle 3: Abhängigkeit des Quellungsdruckes vom Wassergehalt des Bodens bei Beginn der Messung
(Marschboden 45 % Ton, 2,5 Ca/Mg)

H_2O-Gehalt des Bodens	kg/cm^2/100 g Boden
pF 3,0	0,28
pF 3,4	0,47
pF 4,7	0,98
abs. wasserfrei (105° C)	0,83

Bei einem der Hygroskopizität entsprechenden Wassergehalt ist das Maximum des erreichbaren Quellungsdruckes. Der zum absolut wasserfreien, bei 105° C getrockneten Boden feststellbare Abfall des Quellungsdruckes wird mit irreversiblen Schrumpfungsvorgängen hydrophiler Metallhydroxyde zu hydrophoben Metalloxyden und entsprechenden Veränderungen der organischen Substanzen erklärt. Unterhalb pF 3 nähern sich die meßbaren Quellungsdrucke sehr schnell dem Werte O. Es ist aus den Angaben der Tabelle 3 abzuleiten, daß sich durch zunehmenden Bodenfeuchteverlust die Quellungskräfte vervielfachen können.

Veränderungen der Permeabilität durch Schrumpfungs- und Quellungsvorgänge im Boden

Damit erhebt sich die Frage, ob die durch Schrumpfung ausgelösten strukturellen Verbesserungen - sieht man von den positiven Nachwirkungen einer tieferreichenden Durchwurzelung und Oxydation in solchen Schwundrissen ab - durch nachfolgend umso stärkere Quellungskräfte nicht nur wieder zunichte gemacht, sondern ins Gegenteil verwandelt werden können. Martensen (3) hat auf diese Möglichkeiten und Konsequenzen bei Ent- und Bewässerung solcher Böden zuerst hingewiesen. Permeabilität und Porosität eines schweren Marschbodens werden durch Austrocknung und Widerbefeuchtung verändert, und zwar im positiven wie negativen Sinne. Zwei Vorgänge mit entgegengesetzter Wirkung werden ursächlich damit in Zusammenhang gebracht:

1. Die durch Austrocknung bewirkte Schrumpfung ist z.T. irreversibel. Mit Verringerung der Wasserkapazität nimmt die Permeabilität zu (4).
2. Mit dem Grad der Austrocknung zunehmende Quellungskräfte bewirken ein Absprengen von Bodenpartikelchen, die vor allem in größeren Schwundrissen, Wurm- und Wurzelgängen das Substanzvolumen erhöhen und diese verstopfen.

Martensen hatte die Permeabilitätsveränderungen durch zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse zweier nicht unwesentlich in Tongehalt und Kationensorptionsverhältnissen sich unterscheidender Marschprofile ausgewertet. Dies löste eine in der Zeitschrift für Kulturtechnik veröffentlichte Diskussion aus (5, 6).

Eigene Untersuchungen mit größerem Material und hinsichtlich Quell- und Schrumpfvermögen wesentlich stärker reagierenden Brackmarschböden (45 % Ton, 2,5 Ca/Mg) haben jedoch Martensens Feststellungen grundsätzlich bestätigt. Es konnten stets korrelative Abhängigkeiten zwischen 1. Permeabilitätsmessungen (naturfeuchter Boden) und 2. Permeabilitätsmessung (nach mehrtägiger Lufttrocknung und erneuter Wassersättigung) ermittelt werden. Die Regressionskoeffizienten sind stets kleiner als 1. Damit wird das Ausmaß der die Permeabilität ändernden Austrocknung angedeutet. Würde eine solche Änderung nicht erfolgt sein, müßte die Regressionsgrade der Gleichung $X = Y$ folgen. Die zu verschiedenen Zeitpunkten am gleichen Boden durch-

geführten Messungen der Permeabilität vor und nach einer zwischengeschalteten starken Austrocknung schneiden wie Abb. 1 z.B. zeigt, die Diagonale y = x in unterschiedlichen Punkten. Das bedeutet, daß z.B. im Frühjahr 1962 - mit seiner auf grund des vorausgegangen en milden und regenreichen Winters schlechten Struktur und Durchlässigkeit $\sim 10^{-5}$ c m/sec - Permeabilitäten $< 5 \cdot 10^{-4}$ cm/sec nach Austrocknung wesentlich erhöht, aber erst $> 5 \cdot 10^{-4}$ cm/sec verringert wurden. Prozentual überwiegen Permeabilitätszunahmen. Zum Herbst 1962 ist infolge des regenreichen Sommers die durchschnittliche Permeabilität nochmals verringert worden und befindet sich nun $\sim 10^{-6}$ cm/sec. Der Schnittpunkt der Regressionsgraden liegt jetzt bei $6 \cdot 10^{-5}$ cm/sec . Der Bereich einer nach Austrocknung und Wiederbefeuchtung möglichen Permeabilitätsverbesserung liegt dann erst $> 6 \cdot 10^{-5}$ cm/sec, während $< 6 \cdot 10^{-5}$ cm/sec Ausgangspermeabilitäten sich durch diesen wechselnden Quellungs-Schrumpfungs-Quellungsvorgang verringern. Zu- und Abnahmen der Permeabilität sind ziemlich gleichmäßig zu verzeichnen. Die als Nachwirkung eines für das Küstengebiet anormal kalten und niederschlagsarmen Winters erheblich verbesserten Permeabilitäten des Frühjahrs 1963 im Mittel $\sim 10^{-4}$ cm/sec zeigen dann prozentual auch mehr Permeabilitätsverluste als -zunahmen an (Abb. 1). Der Schnittpunkt der Regressionsgraden mit der Diagonalen x = y liegt jetzt bei 10^{-7} cm/sec und deutet auf eine allgemein nur mögliche Permeabilitätsminderung hin.

Martensen stellte bei seinen Untersuchungen an Böden mit 25 - 45 % Ton und Ca/Mg-Verhältnissen zwischen 4 und 16 diesen Schnittpunkt zwischen 10^{-3} und 10^{-4} fest. Ein Anzeichen dafür, daß besonders in sedimentär begünstigten Böden solche Permeabilitätsveränderungen großen Einfluß auf die Strukturdynamik ausüben können. Den Pflanzenwurzeln und ihnen nachfolgenden Bodentieren bliebe demnach die große Aufgabe, Permebilitätsverluste in solchen Schwundrissen aufzuhalten.

Weitere Untersuchungen dienten nun der Feststellung, inwieweit ein wechselnd hoher Quellungsdruck die Permeabilität des Marschbodens beeinflußt. Ein wesentliches Ergebnis ist, daß mit Zunahme des Quellungsdruckes sowohl Zu- als auch Abnahmen der Permeabilität möglich sind. Bildet man sowohl für abnehmende als auch zunehmende Permeabilitäten die Regressionsgraden mit dem Quellungsdruck, so ist aus Abb. 2 zu erkennen, daß der für solche Veränderungen kritische Quellungsdruck bei $\sim 0,2$ kg/cm^2 liegt. Das entspräche einem Rohtongehalt von 13 %. Es dürften aber bei den

polyfunktionellen Abhängigkeiten des Quellungsdruckes für jeden zum Quellen und Schrumpfen neigenden Boden die Regressionsgraden eine andere Steigung und Schnittpunkte mit der x-Achse aufweisen. Der wechselnd hohe und mögliche Quellungsdruck dürfte damit der Ansatzpunkt für die Bewertung der in diesen Böden so besonders wichtigen Permeabilität im Hinblick auf die Strukturdynamik sein. Das Bestreben der Bodenverbesserung sollte daher daraufhin zielen, neben einer durch Entwässerung erzielbaren Schrumpfung den Quellungsdruck zu vermindern. Wie wir an anderer Stelle nachweisen konnten, ist z.B. durch eine optimale Kalk- und Phosphatversorgung der Quellungsdruck eines Marschbodens um 20 - 30 % zu erniedrigen (7). Der verminderte Quellungsdruck schränkt das Ausmaß einer Permeabilitätsveränderung im positiven wie negativen Sinne ein. Die zwischen Influktuation und langsamster Infiltration variierende Permeabilität dieser Böden und damit sicher auch die Dynamik anderer Struktureigenschaften werden auf eine Pflanzenwachstum und Bodenleben weniger begrenzende, geringere Amplitude eingestellt.

Zusammenfassung

Die Bedeutung des Schrumpfens und Quellens auf die Strukturdynamik schwerer Böden der Marsch werden hervorgehoben. Der Quellungsdruck (kg/cm^2 / 100 g Boden) nimmt im Rahmen dieser Betrachtung eine besondere Stellung ein. Abhängigkeiten des Quellungsdruckes zum Rohtongehalt, zur Art und Kationensorption verschiedener Tonminerale und vor allem zum Bodenfeuchtegehalt wurden festgestellt. Durch Austrocknen und erneute Wasseraufnahme werden vor allem Permeabilität und Porosität eines Bodens verändert. Das ± Ausmaß einer Permeabilitätsänderung ist von der Höhe der Ausgangsdurchlässigkeit und vom Quellungsdruck abhängig. Der durch abnehmende Permeabilität bestimmte kritische Durchlässigkeitsbereich ist für jeden Boden spezifisch und als Ergebnis vorausgegangener, witterungs- und nutzungsabhängiger Strukturbildung variabel.

Ein nachhaltiger Meliorationserfolg derartiger Böden mit hohem Schrumpfungs- und Quellvermögen, im Sinne einer positiven Strukturbeeinflussung, ist neben einer durch Entwässerung eingeleiteten und länger andauernden Schrumpfung im gleichzeitigen Vermindern des Quellungsdruckes durch chemische und biologische Faktoren zu sehen.

Literatur:

1. KUNTZE, H., Die Messung des Quellungsdruckes von Marschböden Z.Pflanzenern.Düng.Bodenkunde 96, 97, 1962

2. WARKENTIN, B.P., Water retention and swelling pressure of clay soils - Canad.J.Soil Sci. 42, 189, 1962

3. MARTENSEN, H., Permeabilitätsmessungen in alter Marsch I Wasser u. Boden 11, 8, 1959

4. DREIBRODT, L, Über die Methodik der Wasserkapazitätsbestimmung unter Berücksichtigung einiger physikalischer Eigenschaften des Bodens - Diss. Berlin 1952

5. WOLKEWITZ, H., Betrachtungen zur Arbeit "Permeabilitätsmessungen in alter Marsch" v.H. Martensen, Stade Z.f.Kulturtechnik 2, 42, 1961

6. MARTENSEN, H., Permeabilitätsmessungen in alter Marsch II Z.f.Kulturtechnik 3, 103, 1962

7. SCHEFFER, F., KUNTZE, H., NEUHAUS, H., Quellen und Schrumpfen-Faktoren der Bodenstruktur und ihre Beeinflussung bei Marschböden Z.Pflanzenernähr.Düng.Bodenkunde 103, 210, 1963

Abb. 1

Veränderung der Permeabilität eines Marschbodens

durch Schrumpfen und Quellen

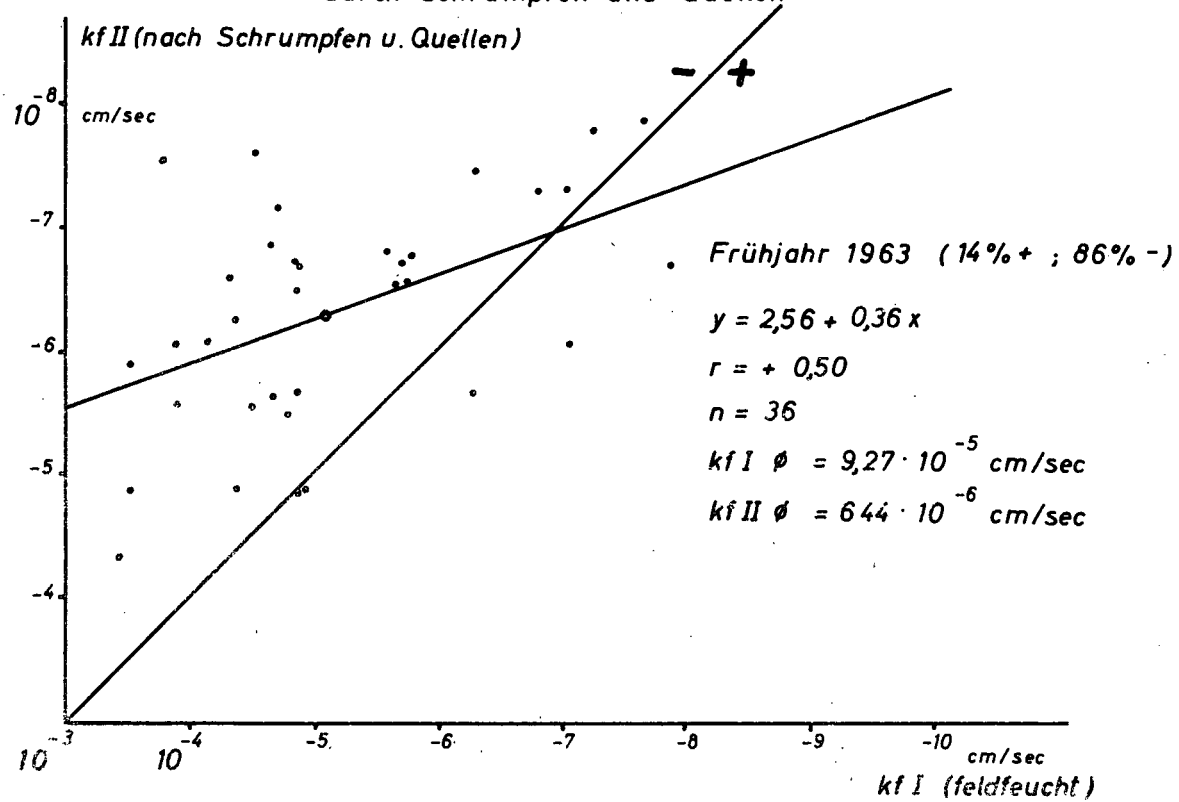
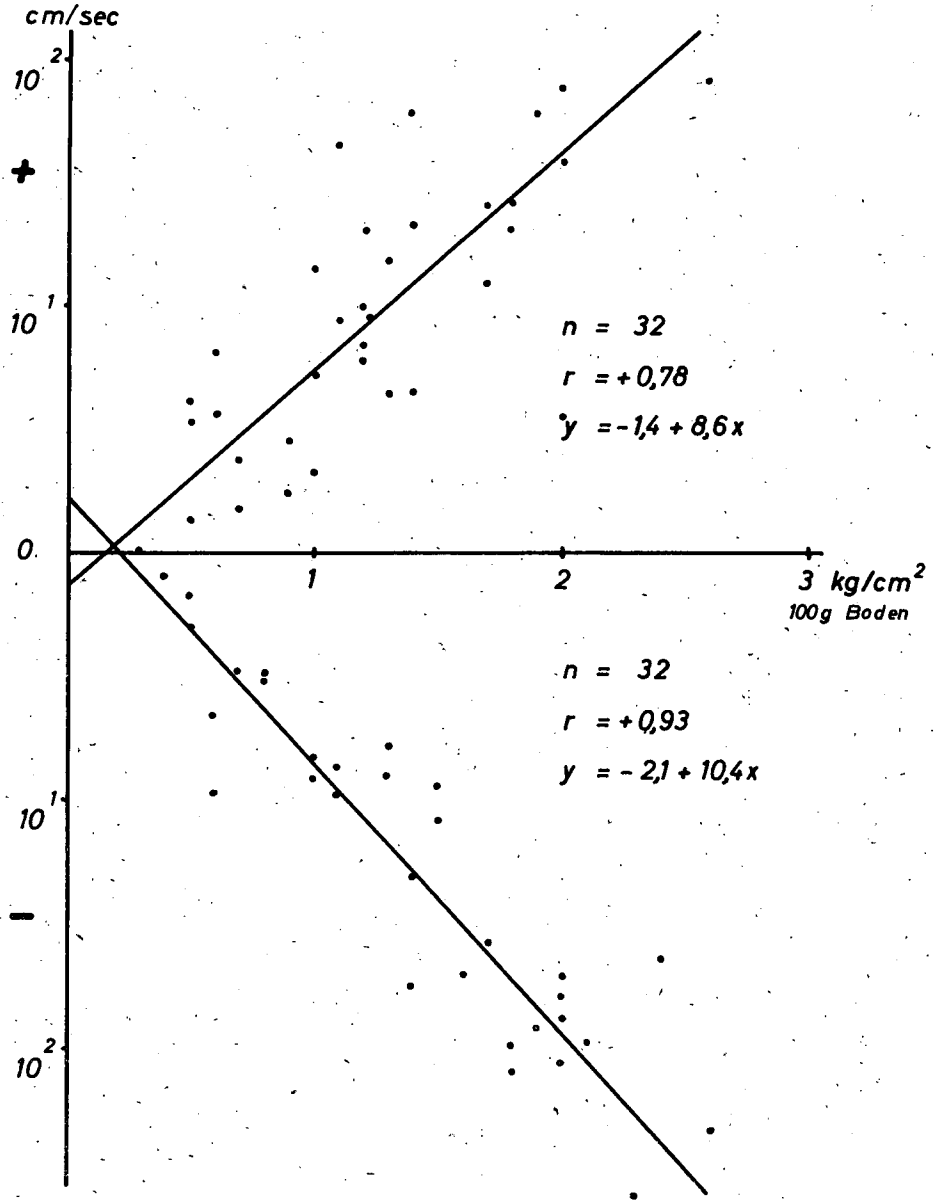


Abb. 2

Einfluß des Quellungsdruckes auf die Veränderlichkeit der Permeabilität des Marschbodens



Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft Bd. 1 · S. 195-219, 1963

DER EINFLUSS DES SORBIERTEN MAGNESIUMS AUF DIE WASSERDURCHLÄSSIGKEIT UND DIE LAGERUNGSVERHÄLTNISSE VON MARSCHBÖDEN

W. Müller und H. Fastabend +)

I. Einleitung

Es ist eine weit verbreitete Ansicht und in vielen Lehrbüchern nachzulesen, daß die sorbierten, austauschbaren Kationen von großem Einfluß auf das Bodengefüge sind. Dieser Einfluß soll über die Einwirkung der sorbierten Ionen auf die Koagulation und Peptisation gehen. Über die praktische Anwendung derartiger Erkenntnisse auf die Ansprache und die Beurteilung von Böden und deren wichtigsten Eigenschaften liegt jedoch wenig Material vor.

Eine umfangreiche Literatur existiert andererseits über Fragen, die sich mit dem möglichen Wirkungsmechanismus der sorbierten Kationen auf die Wasseranlagerung, die Koagulation und Peptisation befassen. Allerdings gehen die Meinungen hierüber sehr weit auseinander. Offensichtlich sind wir noch weit von einer gesicherten Kenntnis dieser Mechanismen der Ionenwirkung entfernt. Vielleicht liegt es an diesem gelehrten Für und Wider, daß viele Bodenkundler, die sich mit der Ansprache der Böden und der Beurteilung ihrer Eigenschaften beschäftigen, den Einflüssen sorbierter Kationen auf wichtige Bodeneigenschaften keine große Bedeutung beimessen.

Hinzu kommt, daß man in der einschlägigen Literatur meist den zweiwertigen Kationen einen günstigen Einfluß auf das Bodengefüge und die damit zusammenhängenden Eigenschaften zuspricht im Gegensatz zu einer entsprechenden negativen Wirkung der einwertigen Ionen. Da die zweiwertigen Ionen meist an den Sorptionskomplexen überwiegen, scheinen somit diese Probleme für die bodenkundliche Praxis mehr von akademischen Interesse zu sein.

+) Nieders. Landesamt f. Bodenforschung, Hannover, Wiesenstraße 1

Ist diese Unterscheidung der Ioneneinflüsse nach ihrer Wertigkeit nun ausreichend? Tatsächlich werden in der Literatur meist die Wirkungen der zweiwertigen Ca- und Ba-Ionen denen der einwertigen Na- und Li-Ionen gegenübergestellt. Bei diesen Ionengruppen kann man eindeutig von einer dominierenden Wirkung der Wertigkeit sprechen. Anders wird dies jedoch, wenn man die bei natürlichen Böden ja wichtigen K- und Mg-Ionen in die Betrachtungen mit einbezieht. Aufgrund zahlreicher Eigenschaften lassen sich diese Ionen nicht mehr eindeutig zu den erwähnten Gruppen der ein- und zweiwertigen Ionen zuordnen.

So tendiert z.B. das Mg-Ion hinsichtlich wichtiger Eigenschaften mehr zu den entsprechenden Eigenschaften der Na-Ionen als zu denen der Ca-Ionen. Umgekehrt ist dies bei den K-Ionen, die in ihrer Wirkung oft mehr den Ca- als den Na-Ionen ähneln. Auf diese Dinge wird später näher eingegangen werden. Halten wir zunächst nur fest, daß hinsichtlich der Wirkung sorbierter Ionen auf die Eigenschaften kolloidaler Systeme durchaus nicht nur die Frage der Wertigkeit von Bedeutung ist. Insbesondere soll im Folgenden die Frage untersucht werden, ob die Rolle der sorbierten Mg-Ionen im Boden mehr der destruktiven Wirkung der Na-Ionen als der strukturverbessernden Wirkung der Ca-Ionen angenähert ist.

II. Berichte über die Wirkung sorbierter Mg-Ionen auf physikalische Bodeneigenschaften

Berichte über ungünstige physikalische Bodeneigenschaften, insbesondere eine leichte Dispergierbarkeit und eine geringe Wasserdurchlässigkeit zusammen mit dem Auftreten größerer Anteile sorbierter Mg-Ionen, liegen aus vielen Gebieten der Erde vor. So wird von Solonetzböden in Kanada, Ungarn, Rußland und anderen Gebieten berichtet, bei denen nur wenig Na-Ionen, dagegen aber reichlich Mg-Ionen sorbiert waren. Unfruchtbare Böden auf Hawaii wiesen ebenfalls ungünstige physikalische Eigenschaften und eine erhöhte Mg-Sorption gegenüber fruchtbaren Böden auf. Durch Zugabe größerer Mengen Mg-Sulfate wurden hier die Bodeneigenschaften erheblich verschlechtert (HANKE u. STEWART 1927). Die gleiche Erscheinung trat auf, wenn im Beregnungswasser etwa 38 % Mg-Ionen enthalten waren (GEORGE 1930).

Ähnliche Beobachtungen werden auch aus den USA, Rußland und Ländern Vorderasiens gemeldet. Andere Beobachter berichten, daß schlechte bodenphysikalische Eigenschaften dann auftreten, wenn etwa 40 % und mehr Mg-Ionen sorbiert sind oder das Ca/Mg-Verhältnis am Sorptionskomplex um und unter 1,8 liegt (USOV 1937, GILL und SHERMANN 1952, HAUSER 1953, BROOKS, BOWER und REEWE 1956).

Nun ist es allerdings keineswegs so, daß in der ausländischen Literatur das in größeren Mengen sorbierte Mg-Ion im Boden einheitlich als strukturzerstörendes Element betrachtet wird. In einigen russischen und amerikanischen Arbeiten wurden die schlechten physikalischen Eigenschaften der untersuchten Mg-reichen Böden in erster Linie auf einen hohen Montmorillonitgehalt zurückgeführt. Der Kationenbelegung wird hier nur eine sekundäre Bedeutung eingeräumt (UVAROVA und KAMIOVA 1934, SMITH, BUEHRER und WICKSTROM 1949).

Aus den deutschen und niederländischen Marschgebieten liegen umfangreiche Untersuchungen über Böden mit hoher Mg-Sorption und gleichzeitig ungünstigen physikalischen Eigenschaften vor (VEENENBOS und SCHUYLENBORGH 1951, W. MÜLLER 1954, 1955, 1958, 1959). Bei diesen Böden wird man die schlechten physikalischen Eigenschaften kaum auf hohe Montmorillonitgehalte zurückführen können. Hier überwiegen im allgemeinen illitische Tonminerale.

III. Chemische und physikalische Eigenschaften von Marschböden

Abb. 1

Bild 1 zeigt die Anteile der austauschbaren Kationen bei Marschböden. Der Darstellung liegen mehrere 10.000 Analysen zugrunde, die anläßlich der Marschenkartierung des Niedersächsischen Landesamtes für Bodenforschung erstellt wurden.

Die prozentualen Anteile der sorbierten Kationen an Böden sind hier gegen den Salzgehalt im Ablagerungsraum der Ausgangssedimente der Bodenbildung aufgetragen.

Aus der Abbildung geht die sehr unterschiedliche Kationensorption an Marsch-

böden hervor. In dem mittleren Bereich überwiegt deutlich die Mg-Sorption. Die Na-Sorption ist hier meist erhöht. Es handelt sich hierbei um Böden oder Bodenschichten, die aus brackischen Sedimenten hervorgegangen sind. Böden, deren Ausgangssedimente in Zonen höherer Salzkonzentration des Wassers - also im marinen Bereich - oder bei niedrigerer Salzkonzentration - im fluviatilen Bereich - abgelagert wurden, weisen wieder eine überwiegende Ca-Sorption auf.

Es soll hier nicht auf die Ursachen dieser Erscheinungen eingegangen werden (s. W. MÜLLER 1954, 1959). Begnügen wir uns mit der Feststellung, daß Marschböden aus brackischen Sedimenten eine hohe, ja z.T. weit überwiegende Mg-Sorption aufweisen. Parallel mit zunehmenden Anteilen austauschbarer Mg-Ionen am Sorptionskomplex geht die Zunahme ungünstiger physikalischer Eigenschaften. Von diesen physikalischen Eigenschaften soll besonders die leichte Peptisierbarkeit, die Verschlämmungsneigung, die große Lagerungsdichte und die Entwicklung solonetzartiger Bodenstrukturen sowie vor allem die geringe Wasserdurchlässigkeit der Mg-reichen sogenannten Brackmarschen hervorgehoben werden. Umgekehrt weisen die Böden mit überwiegender Ca-Sorption im Normalfall günstige physikalische Eigenschaften auf. Die Übereinstimmung der erwähnten chemischen und physikalischen Eigenschaften ist so gut, daß sich das Verhältnis der sorbierten Ca/Mg-Ionen als Definitionsgrundlage der verschiedenen Marschbodentypen und -subtypen bei den Kartierarbeiten des Niedersächsischen Landesamtes für Bodenforschung bestens bewährt hat (W. MÜLLER 1958).

In den folgenden Diagrammen sind die Sorptionsverhältnisse und einige wichtige physikalische Eigenschaften dieser Böden dargestellt.

Abb, 2
Das Bild 2 zeigt die Wasserstabilität von Aggregaten. Es wurde die Methode von FADEJEW angewendet. Hierbei werden Aggregate von 2 - 3 mm Durchmesser abgesiebt und der Wasserdurchlauf bei konstantem Druckgefälle durch eine 10 cm hohe Schicht dieser Aggregate in der Zeiteinheit gemessen. Je nach dem Umfang der Zerfalls der Aggregate wird der Wasserdurchlauf gebremst. Der Wasserdurchlauf pro Zeiteinheit ist also ein Maß für die Aggregatstabilität. Der Abfall der durchgelaufenen Wassermenge in der Zeiteinheit ist auf dem Diagramm in verschiedenen Zeitabständen aufgetragen. Die Proben weisen wechselnde Ca/Mg-Verhältnisse auf und sind sonst hinsichtlich Tongehalt

Humusgehalt, V-Wert usw. vergleichbar (W. MÜLLER 1954).

Die Stabilität der Aggregate gegen Wasser ist je nach dem Ca/Mg-Verhältnis deutlich unterschiedlich. Sie ist bei höherer Ca-Sorption, z.B. bei dem Seemarsch-Übergangsboden (heute würden wir Brack-Seemarsch dazu sagen), wesentlich höher als bei Knick-Brackmarsch-Material mit hoher Mg-Sorption.

Wir können somit feststellen, daß bei erhöhter Mg-Sorption die Aggregatstabilität gegenüber einem Wasserangriff deutlich erniedrigt ist.

Abb. 3
Das Bild 3 zeigt die Wasserdurchlässigkeit verschiedener Marschböden in ungestörter Lagerung. Es handelt sich um gemittelte Ergebnisse von mehreren 1000 kf-Messungen, die in vertikal und horizontal entnommenen Stechringen vorgenommen wurden. Auf Einzelheiten der Methode wird an anderer Stelle eingegangen (BENECKE 1963).

Die kf-Werte - hier in cm/d ausgedrückt - sind auf dem Diagramm gegen die Ca/Mg-Verhältniswerte aufgetragen. Die durch die Ca/Mg-Werte definierten Subtypen der Brack- und See-Marschböden sind hier gleichzeitig in ihren Abkürzungen aufgetragen (K̄nB, KnB, knB, nB; BS, nS, aS). Die Werte von stärker humosen, stärker durchwurzelten oder durch subfossile Bodenbildungsvorgänge beeinflußten Schichten sind bei dieser Auftragung nicht berücksichtigt. Der Einfluß unterschiedlicher Tongehalte ist nur gering, so daß in dieser Darstellung die Werte von Schichten mit sehr unterschiedlichem Tongehalt (etwa 10 - 60 %) enthalten sind.

Aus dem Diagramm geht deutlich hervor, daß die Durchlässigkeit mit kleiner werdendem Ca/Mg-Verhältnis, also mit Zunahme der Mg-Sorption, stark abnimmt. Demgegenüber ist der Einfluß unterschiedlicher Tongehalte vergleichsweise gering.

Nicht unerwähnt soll hier bleiben, daß die Werte der vertikalen Durchlässigkeit sehr schwanken und stark von anderen Faktoren, wie z.B. der Durchwurzelung und Wurmgängen, abhängig sind. Dies gilt in wesentlich geringerem Umfang für die horizontale Durchlässigkeit. Die horizontale Durchläs-

sigkeit weist eine geringere Streuung der Parallelmessungen auf. Sie ist im wesentlichen gefügebedingt und daher für die Beurteilung dieser wichtigen Bodeneigenschaft von besonderem Interesse. Wir können also feststellen, daß bei hoher Mg-Sorption die Wasserdurchlässigkeit deutlich herabgesetzt ist.

Tab. 1

Die folgende Tabelle zeigt bei einer Reihe von Marschböden sowie einiger Böden, die nicht aus der Marsch stammen, wichtige Kennwerte für die physikalischen Eigenschaften. Es handelt sich um in etwa vergleichbare Schichten aus Tonböden, die, mit Ausnahme der Seemarsch, kalkfrei sind. Die Böden unterscheiden sich im wesentlichen nur hinsichtlich der Sorption von Ca- und Mg-Ionen und in ihrer Durchlässigkeit.

Die Anteile austauschbarer Ca-Ionen nehmen von oben nach unten zugunsten der Mg-Ionen ab. Entsprechend verringern sich die Verhältniswerte sorbierter Ca/Mg-Ionen. Das gleiche gilt für das Verhältnis Ca/Mg + 2Na.

Entsprechend der Zunahme der Anteile austauschbarer Mg-Ionen verringert sich die Durchlässigkeit, die hier wieder als kf-Werte in cm/d angegeben sind.

Die hier gezeigten Lias- und Kreidetone passen sich gut in den Rahmen der Marschentone ein. Allerdings ist unser Untersuchungsmaterial über Mg-reiche Böden, die nicht aus der Marsch stammen, noch gering. Abgesehen von der eingangs erwähnten Literatur weisen jedoch auch einige Berichte aus Deutschland auf ungünstige physikalische Eigenschaften Mg-reicher Böden hin. Diese Erscheinung ist also auch in Deutschland nicht nur auf Marschböden beschränkt.

IV. Untersuchung der Wirkung und der Eigenschaften sorbierter Ionen

Die geschilderten Beziehungen zwischen dem Anteil des sorbierten Magnesiums am Sorptionskomplex und den bodenphysikalischen Eigenschaften, insbesondere der Wasserdurchlässigkeit, die wir Jahre hindurch bei weit über 1000 untersuchten Marschprofilen immer wieder bestätigt fanden, veranlaß-

ten uns schon vor mehreren Jahren, mit einigen relativ einfachen Laborversuchen folgende Frage zu klären: Ist ein enges Ca/Mg-Verhältnis der sorbierten Kationen bzw. ein hoher Anteil des Magnesiums am Sorptionskomplex lediglich ein Indikator für eine schlechte Wasserdurchlässigkeit, oder ist es auch die Ursache bzw. "Mit"-Ursache?

Bei den 3 Versuchen, von denen berichtet werden soll, sind wir so vorgegangen, daß Boden- bzw. Tonproben in Glasrohre (Ø 0,5 cm) eingefüllt wurden, wobei diese Rohre unten in geeigneter Weise (Filterwatte, Membran) abgeschlossen waren.

Für den ersten Versuch verwendeten wir Probenmaterial von einem Seemarschprofil bei Pockens. Die wichtigsten Analysendaten:

Seemarsch bei Pockens, Profil 233, Tiefe 27 - 32 cm

pH (KCl)	Org. Subst.	$CaCO_3$	mval / 100 g Boden						
			T-Wert	Sorbierte Kationen					Summe der Kationen
				H	Ca	Mg	K	Na	
	%	%							
6,5	3,1	o	38,2	3,3	29,8	4,1	0,8	0,5	38,5

Kornverteilung
in Gewichts-% d. Feinbodens (Ø in µ)

< 2	2 - 6	6 - 20	20 - 60	60 - 200	> 200
48,0	12,1	18,4	15,7	5,0	0,8

Die unter gleichen Versuchsbedingungen eingefüllten 4 Proben wurden mit 0,2 n $CaCl_2$-, $MgCl_2$-, KCl-, NaCl-Lösungen behandelt. Das Ergebnis dieses Durchlaufversuches zeigt Abb. 4.

Abb. 4

Aus diesen Untersuchungen geht hervor, daß erwartungsgemäß bei einer Umladung des Probenmaterials in einen Ca-Boden die Durchlässigkeit am größten und bei einem Na-Boden weitaus am niedrigsten ist. Interessant aber ist, daß die Durchlässigkeit des Mg-Bodens sich keineswegs der des Ca-Bodens nähert, sondern eher zum Na-Boden tendiert. Setzt man die Durchlässigkeit des Ca-Bodens = 100 %, so beträgt die Durchlässigkeit des K-Bodens 82 %, des Mg-Bodens 49 %, also nicht einmal die Hälfte des Ca-Bodens, und des Na-Bodens 21 %.

Weitere Untersuchungen über den Einfluß der Art und der Menge der sorbierten Kationen, insbesondere der sorbierten Mg-Ionen, auf die Wasserdurchlässigkeit führten wir mit einem reinen Illit durch, und zwar mit dem bekannten "Fithian Illinois-Illit". Dieses Tonmineral verwendeten wir deswegen, weil es von allen Tonmineralen, die mit Hilfe der Röntgenanalyse in den Marschen nachgewiesen werden konnten, mengenmäßig am stärksten vertreten ist. Allerdings muß erwähnt werden, daß alle Übergänge zwischen dem Illit und dem wesentlich sorptionsschwächeren Muskovit gefunden werden.

Auf die Angabe der chemischen Zusammensetzung dieses Illits kann verzichtet werden. Es soll nur die Austauschkapazität erwähnt werden. Sie beträgt 42,1 mval/100 g Illit.

Mit Hilfe von organischen Ionenaustauschen (Polysterolderivate der Fa. MERCK) wurden Teile dieses Illits in einen Ca-Illit, Mg-Illit, K-Illit und Na-Illit "umgeladen". In ähnlicher Weise wie beim ersten Versuch wurden von diesen 4 verschieden abgesättigten Illiten gleiche Gewichtsmengen in Glasrohre (Ø ca. 4 mm) eingefüllt. Der Wasserdurchlauf (dest. Wasser) wurde gemessen. Die 3 Paralleluntersuchungen zeigten eine gute Übereinstimmung. Das Untersuchungsergebnis (Mittelwerte aus 3 Versuchen) zeigt die nächste Abbildung.

Abb. 5

Auch bei diesem Ergebnis ist wieder eindeutig erkennbar, daß die Durchlässigkeit in Abhängigkeit von der Kationenbelegung abnimmt in der Reihenfolge Ca - K - Mg - Na-Illit. Der Versuch wurde später in einigen Punkten, z.B. Illit-Menge, Höhe der wirksamen Wassersäule, variiert. In jedem Falle

blieb die Tendenz des Untersuchungsergebnisses gleich. Bei dem Versuch, vor dem Durchlauf des dest. Wassers das eingefüllte, lufttrockene Probenmaterial von unten her durch kapillaren Anstieg des Wassers zu durchfeuchten - das untere Ende der Glasrohre wurde mit einer semipermeablen Membran verschlossen -, konnte festfestellt werden, daß die Geschwindigkeit des kapillaren Anstiegs direkt proportional der Wasserdurchlässigkeit war, d.h., die Geschwindigkeit nahm in der Reihenfolge Ca - K - Mg - Na - Illit ab.

Abb. 6
Im folgenden Versuch wurden in 4 Glasrohre (Ø ca. 4 mm) gleiche Mengen Illit eingefüllt. Die eingefüllten Mengen stellten sehr sorgfältig hergestellte Gemische aus Ca - Mg - K - und Na-Illit dar. Um die Wirkung des uns besonders interessierenden Mg-Ions näher zu untersuchen, wurden die Anteile des Na- und des K-Illits mit je 10 % des Gewichtes konstant gehalten. Lediglich die Anteile des Ca- und Mg-Illit wurden untereinander wechselseitig verändert, wobei ihr Gesamtanteil am Gemisch mit 80% konstant blieb. In 2 weitere Glasröhrchen wurden die gleichen Mengen reiner Ca- und reiner Mg-Illit eingefüllt. Dieser Versuch zeigt besonders eindeutig, daß das vom Boden sorbierte Mg sich physikalisch, zum mindesten hinsichtlich seiner Wirkung auf die Wasserdurchlässigkeit, doch erheblich anders verhält, als das Ca. Aus dem Ergebnis geht hervor, daß unter den gegebenen Versuchsbedingungen bei einer Änderung des Ca:Mg-Verhältnisses in der Kationen-Belegung von 7: 1 auf 1 : 7 (bei gleichbleibendem Anteil der K- und Na-Ionen) die Wasserdurchlässigkeit auf fast die Hälfte (52 %) zurückgeht.

Die Ergebnisse dieser Versuche sprechen dafür, daß ein steigender Anteil von Mg-Ionen am Sorptionskomplex nicht nur ein Indikator für eine zunehmende Wasserundurchlässigkeit ist, sondern zugleich auch Ursache, und zwar in ähnlicher Weise, wie wir es bei sorbierten Na-Ionen schon seit langer Zeit wissen.

Natürlich drängt sich sofort die Frage auf: Wie kommt das? Wir möchten vorweg betonen, daß auch wir eine klare Antwort darauf nicht geben können. Es sind, wie eingangs bereits erwähnt, ganz offensichtlich noch zu wenig grundsätzliche Untersuchungen in dieser Richtung durchgeführt worden.

Wir möchten trotzdem einige Übersichten bzw. Versuchsergebnisse zeigen, die etwas über die Eigenschaften des Mg-Ions aussagen. Dabei handelt es sich

um Ergebnisse, die schon vor 25 oder mehr Jahren Eingang in die Lehrbücher gefunden haben.

An dieser Stelle sei aber ausdrücklich erwähnt: die Erkenntnisse über die Notwendigkeit einer ausreichenden Menge pflanzenverfügbaren Magnesiums in unseren Böden werden von unseren Beobachtungen und Auffassungen überhaupt nicht berührt. Selbst ein schwerer Tonboden gilt (nach der Methode SCHACHTSCHABEL) als gut mit Magnesium versorgt, wenn er 12 mg Mg/100g Boden hat. Man kann, ohne einen großen Fehler zu machen, das sorbierte und pflanzenaufnehmbare Mg etwa gleichsetzen. Diese 12 mg Mg bedeuten also 1 mval Mg. Ein nennenswerter Einfluß auf physikalische Eigenschaften tritt aber nach unseren Feststellungen auf jeden Fall erst dann ein, wenn bei schweren Böden ein Mehrfaches dieser Menge vorhanden ist (150 mg austauschbares Mg kommen in einer Knickmarsch durchaus vor). Ob allerdings unter solchen Verhältnissen ohne Bedenken Meliorationsdüngungen mit großen Mengen dolomitischer Kalke durchgeführt werden können, möchten wir aufgrund unserer Beobachtungen und Versuchsergebnisse sehr bezweifeln. Solchen und ähnlichen Fragen sollte mit Hilfe sorgfältig angelegter mehrjähriger Versuche nachgegangen werden, wobei die bodenphysikalischen Eigenschaften, der Sorptionskomplex und der Pflanzenbestand laufend überprüft werden müßten. -

In der Tabelle 2 ist die Größe der Ionenradien im nichthydratisierten Zustand n. GOLDSCHMIDT und im hydratischen Zustand n. PALLMANN angegeben, Werte, die praktisch in jedem einschlägigen Lehrbuch zu finden sind. Da man ja schlecht von einem "Äquivalentradius" sprechen kann, wurde in der rechten Spalte die aus dem Ionenradius der hydratisierten Ionen errechneten Äquivalentvolumina angegeben. Selbst wenn man berücksichtigt, daß die Hydratationswerte der einzelnen Autoren keineswegs einheitlich sind und die von den Physikern errechneten Größen sich auf Ionen in Lösungen, also frei bewegliche Ionen beziehen, und wenn man ferner berücksichtigt, daß das Äquivalentvolumen eine etwas hypothetische Größe ist, so kann man doch nicht einfach an der Tatsache vorbeigehen, daß das Mg völlig andere Werte als das Ca aufweist und eher zum Na als zum Ca tendiert.

Tabelle 2

Ionenradius (in Å)			Vol. d. hydr. Ionen / Wertigkeit in Å 3
nicht hydratisiert n. GOLDSCHMIDT		hydratisiert n. PALLMANN	
Na	0,98	5,6	737
K	1,33	3,8	230
Mg	0,78	10,8	2640
Ca	1,06	3,6	147

Abb. 7
Abbildung 7 zeigt in graphischer Darstellung, wieviele Millimole H_2O auf 1 mval Austauschkation entfallen. Das Na steht mit 8,3 Milliomol an der Spitze, dicht gefolgt vom Mg mit 6,7 Millimol, während das Ca nur 5,0 und das K 4,0 Millimol aufweisen. Bei der Berechnung dieser Werte ging KÜHN (1936) von den Hydratationswerten von REMY aus und kam zu Verhältniswerten, die aus Austauschkapazität und hygroskopischer Feuchtigkeit gebildet wurden. Diese Zahlenwerte, auf den Quotienten

$$\frac{\text{Millimole des hygrosk. Wassers}}{\text{1mval Austauschkation}}$$

umgerechnet, ergeben die in Abbildung 7 dargestellten Werte. Die Menge des hygroskopischen Wassers nimmt in der Reihenfolge Na - Mg - Ca - K ab.

Abbildung 8 zeigt den Dissoziationsgrad von Austauschkationen bei verschieden abgesättigten Tonen nach MATTSON (1938). Natrium liegt mit 6,2 % an der Spitze, gefolgt von Magnesium mit 4,2 %. In weitem Abstand folgen Kalium mit 1,9 % und Calcium mit 1,8 %.

Abb. 9
Der Einfluß, den die unterschiedliche Kationenbelegung eines Tschernosems auf die Dispergierung der Bodenteilchen nach Untersuchungen von GEDROIZ (1922) ausübt, geht aus Abbildung 9 hervor.

Auch bei diesem Versuch wird deutlich, daß sich das Magnesium völlig anders verhält als das Calcium und hinsichtlich seiner dispergierenden Wirkung dem Natrium folgt, wenn auch mit großem Abstand. Was aber dieses Untersuchungsergebnis von GEDROIZ so interessant macht, ist die Interpretation der Ergebnisse. So erläutert auch RODE noch in seinem Lehrbuch, das 1959 in einer Neuauflage in deutscher Sprache erschien, diese Zahlenwerte folgendermaßen: "Einwertige Kationen erhöhen also die Bodendispersität ....., die Dispersität von Böden, die mit zweiwertigen Kationen gesättigt sind, ist bedeutend geringer".

V. Abschließende Betrachtung

Wenn man unsere seit Jahren durchgeführten Untersuchungen und Beobachtungen im Gelände sowie die von mehreren Autoren außerhalb Deutschlands bzw. Europas gemachten Feststellungen berücksichtigt, wenn man ferner die Ergebnisse der Laborversuche und die schon vor mehreren Jahrzehnten festgestellten Eigenschaften des Mg-Ions zusammenfaßt, so erscheint es uns wirklich angebracht, auf breiterer Basis den Einfluß des sorbierten Magnesiums auf verschiedene physikalische Eigenschaften des Bodens vorurteilsfrei neu zu überprüfen.

Mag auch die gleiche oder ähnliche Beurteilung der beiden Elemente Calcium und Magnesium in vielen Fällen gerechtfertigt sein, so scheint in der von uns geschilderten Rolle eine getrennte Betrachtungsweise notwendig zu sein.

Wir möchten mit einem Satz von Prof. HEIMANN aus Israel schließen, der in den letzten Jahren öfter in Deutschland war und mehrere grundsätzliche Vorträge über seine hochinteressanten Bewässerungsversuche hielt. Er erklärte 1958 in Madrid: "Nach den heutigen Erkenntnissen scheint es gerechtfertigt zu sein, das Natrium zusammen mit dem Magnesium als strukturzerstörenden Faktor zu betrachten."

LITERATURVERZEICHNIS zu Wirkung sorbierter Mg-Ionen

BENECKE, P. Bodenphysikalische Kennwerte mit besonderer Berücksichtigung der Durchlässigkeit. - Mitt.Deutsche Bodenkdl.Gesellsch.1, 1963

BROOKS, R.H., BOWER, C.A. u. REEVE, R.C. 1956: The effect of various exchangeable cations upon the physical condition of soils. -

GEDROIZ, aus RODE, A.A.: Das Wasser im Boden. - Akademie-Verlag, S. 151 (1959)

Mc GEORGE, W.T., 1930: The chemical und physical properties of Ewa plantation soils as influenced by irrigation with artensian wather, with special reference to drainage. -

The Hawaiian Planter's Record 34, S. 179-219.

GILL, W.R. u. SHERMAN, G.D., 1952: Properties of the gray hydromorphic soils of the Hawaiian Islands. - Pacif. Sci. 6, S. 137-142.

HANCE, F.E. u. STEWART, G.R., 1927: Replaceable basis in the soils of Mauri. - Hawaiian Planter's Recorf 31, S. 342-354.

HAUSER, G.F., 1953: Afghan alkali soil. - Soil Sci. 76 Nr. 5, 367-375, Baltimore.

HEIMANN, H., 1959: Die Bewässerung mit salzhaltigem Wasser, mit besonderer Berücksichtigung der Kalium-Natrium-Beziehung. - Kali-Briefe, Monatl. Mitteilungen des Internationalen Kali-Institutes, Bern (Schweiz) Fachgebiet 24, Düngung und Qualität, 10. Folge, S. 1-14

KÜHN, S., 1936: Über die Beziehungen zwischen Hygroskopizität, adsorbierten Basen und einigen physikalischen Eigenschaften, - Z.Pflanzenernähr., Düng., Bodenkunde, 76.

MATTSON, aus RODE, A.A.: Das Wasser im Boden. - Akademie-Verlag, Berlin, S. 162 (1959)

MÜLLER, W., 1954: Untersuchung über die Bildung und die Eigenschaften von Knickschichten in Marschböden. - Diss. Gießen.

- " - 1955: Verdichtungserscheinungen in Marschböden. - Z. Pflanzenern., Düngung und Bodenkunde 71, H.3.

- " - 1958: Grundsätzliche Betrachtungen zur systematischen Gliederung der Marschböden. - Geol. Jb. 76, Hannover.

- " - 1959: Besonderheiten der Marschböden durch den Einfluß des Meeres während ihrer Entstehung. - Z. Pflanzenern., Düngung und Bodenkunde 84 (129), H. 1-3, Weinheim und Berlin.

SCHUYLENBORGH, VAN, J. u. VEENENBOS, J.S., 1951: Over de invloed von Magnesium op de structuur von sedimenten. - Landbaukundig Tijdschrift 11, S.709-714.

SMITH, H., BUEHRER, T. u. WICKSTROM, G., 1949: Effect of exchangeable magnesium on the chemical und physical properties of some Arizona soils. - Soil Sci. 68, Nr.6, S.451-462, Baltimore.

USOV, N. J., 1937: Effect of absorbed magnesium on saline properties of soiles. - Proc. Conf. Soil Sci. Saratoo 1, S.44-61 (Brit. Abstr. B 58: 303).

UVAROVA, A.V. u. KAMLOVA, M.S., 1934: Relation of physical soil characteristics to exchangeable magnesium. - Soc. Grain Farming 34.

VEENENBOS, J.S. u. VAN SCHUYLENBORG, J., 1951: Het knip of knikverschijnsel van kleigronden. - Boor en Spade IV, S.24, 1951

Tabelle 1: Chemische und physikalische Eigenschaften verschiedener Böden

Abb. 1: Kationenbelegung der Marschböden in Abhängigkeit vom Ablagerungsraum der Ausgangssedimente

Abb. 2: Die Wasserstabilität von Bodenaggregaten

Abb. 3: Durchlässigkeit und Bodentyp bei Marschböden

Abb. 4: Wasserdurchlässigkeit eines unterschiedlich abgesättigten Seemarsch-Bodens

Abb. 5: Durchlässigkeit von Illit in Abhängigkeit von der Kationenbelegung

Abb. 6: Durchlässigkeit von Illit in Abhängigkeit von der Kationenbelegung

Abb. 7: Millimole hygroskopisches Wasser pro 1 mval Austauschkation (n. Kühn)

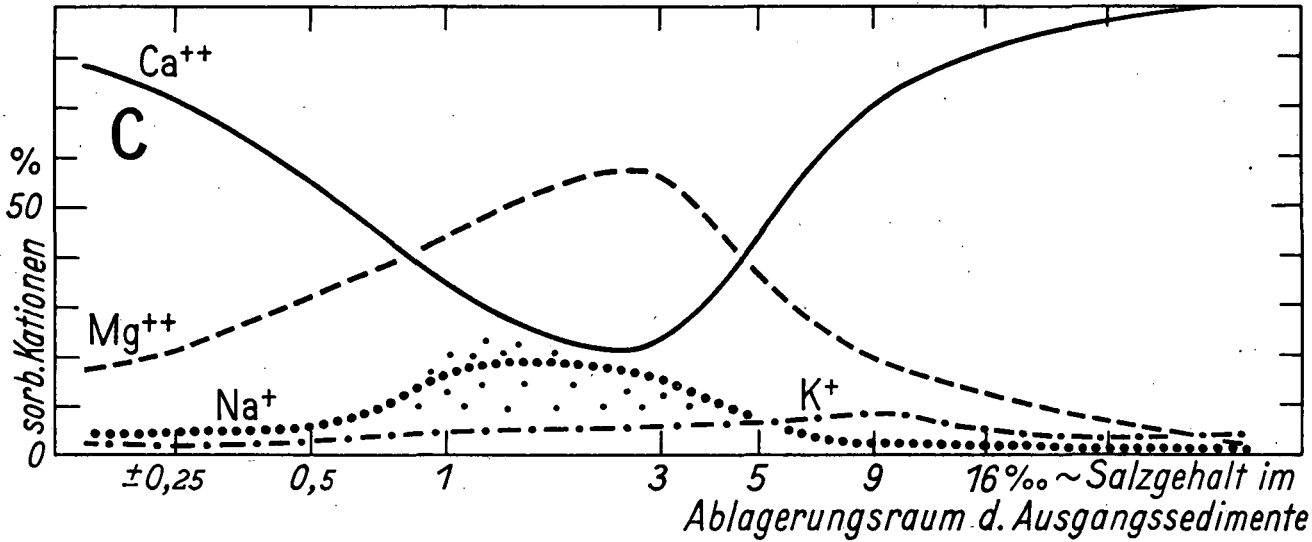
Abb. 8: Dissoziationsgrad von Austauschkationen bei verschieden abgesättigten Tonen (n. Mattson)

Abb. 9: Dispergierung von verschieden abgesättigten Böden (n. Gedroiz)

Tabelle 1

	Tiefe u.Gel. cm	$CaCO_3$	Org. Subst.	Ton %	T-Wert mval	sorbierte Kationen in % T-W.				Verhältniswerte		kf-Werte in cm/d (geom. Mittel)	
						Ca	Mg	K	Na	Ca/Mg	Ca/Mg + 2Na	vertikal	horizontal
tonige kalkhaltige Seemarsch	50 - 65	11	1,1	57	30,8	90	7	2	1	14	10	590	62
tonige Brackmarsch	32 - 37	0	0,8	49	33,9	74	22	3	1	3,4	3,1	105	20
Kreide-Ton	60 - 65	0	0,6	56	35,5	70	25	2	3	2,8	2,3	27	3
Lias-Ton	43 - 48	0	0,7	58	25,8	63	29	2	4	2,7	1,7	21	4
knickige Brackmarsch	45 - 50	0	0,8	49	25	63	26	3	3	2,4	2,0	25	6
Knick-Brackmarsch	23 - 30	0	1,4	51	28,0	30	46	4	6	0,9	0,5	4	< 1

Abb.1



Flußmarsch		Brackmarsch						Seemarsch		
nF	BF	knB	KnB	$\overline{\text{kn}}$B	$\frac{\text{kn}}{\text{B}}$	knB	nB	BS	nS	aS

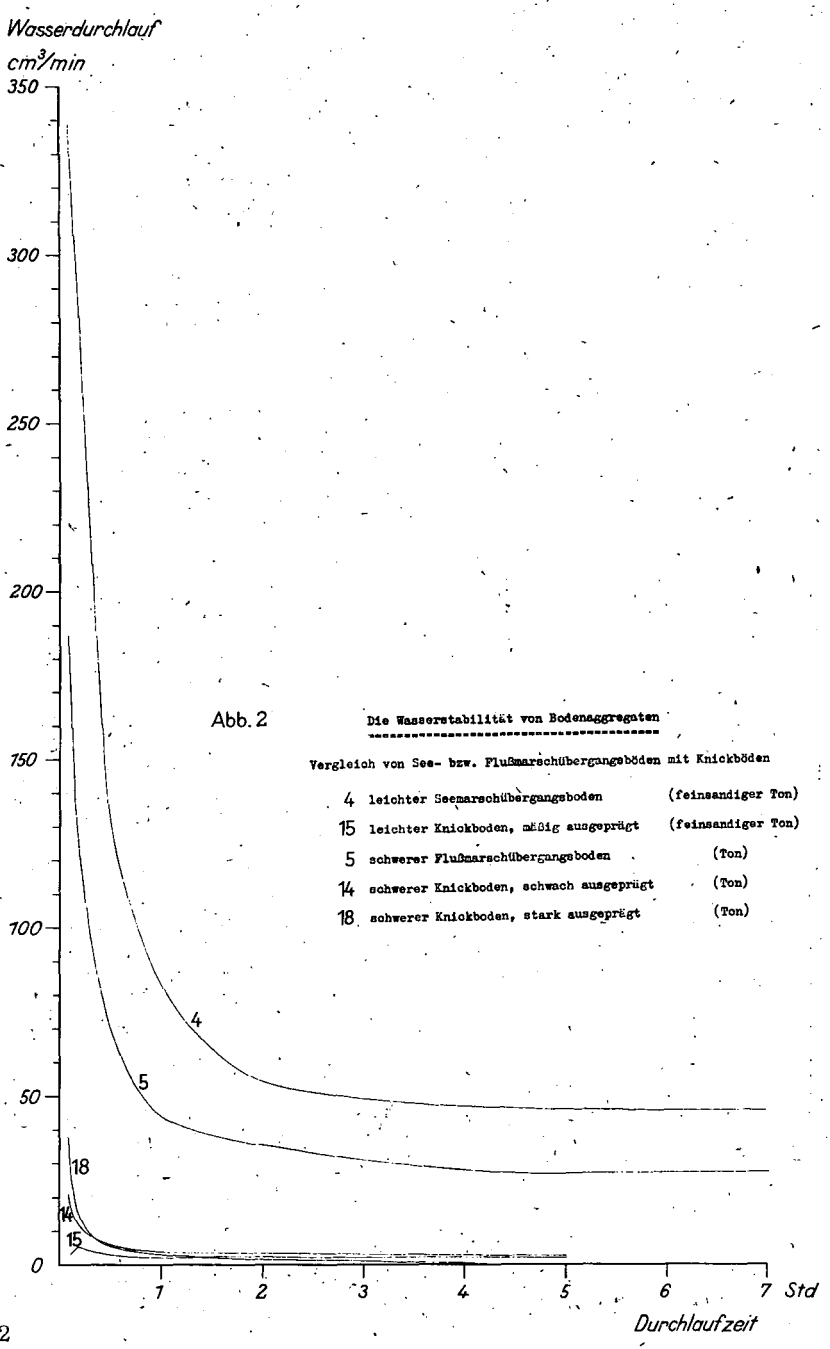


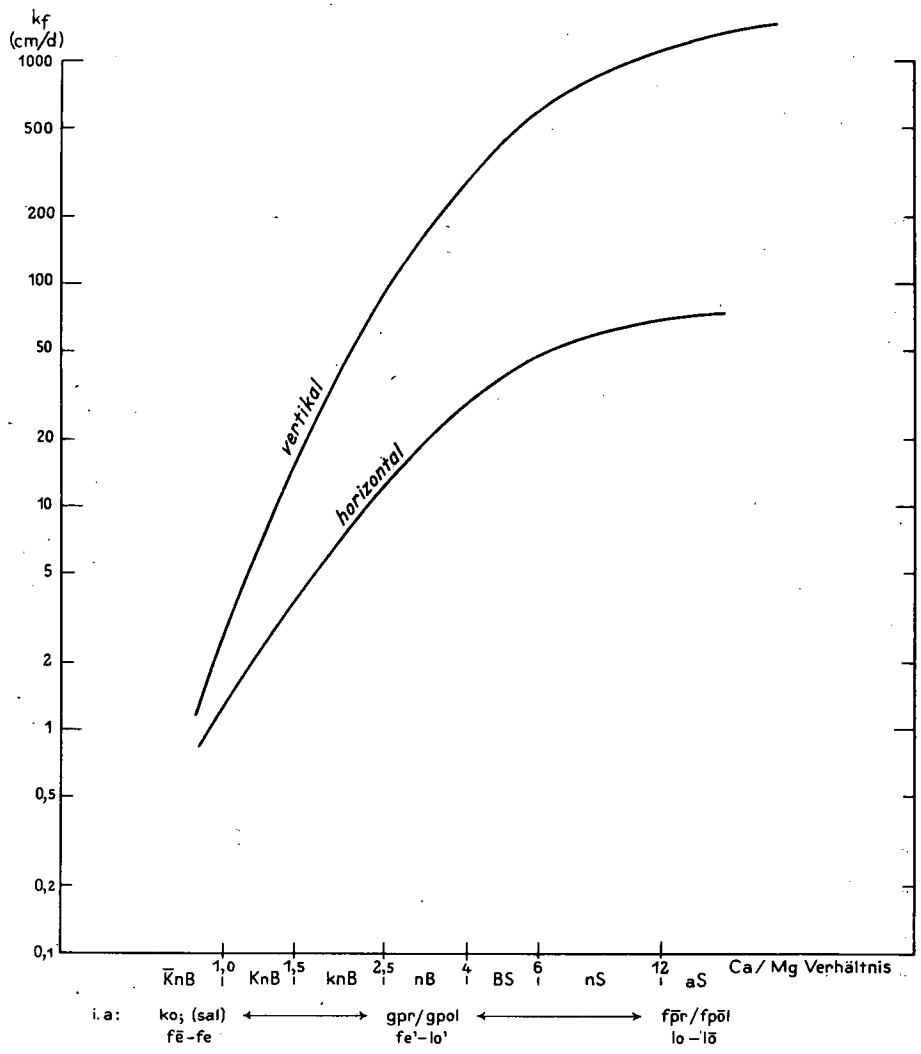
Abb. 2 Die Wasserstabilität von Bodenaggregaten

Vergleich von See- bzw. Flußmarschübergangsböden mit Knickböden

4	leichter Seemarschübergangsboden	(feinsandiger Ton)
15	leichter Knickboden, mäßig ausgeprägt	(feinsandiger Ton)
5	schwerer Flußmarschübergangsboden	(Ton)
14	schwerer Knickboden, schwach ausgeprägt	(Ton)
18	schwerer Knickboden, stark ausgeprägt	(Ton)

Abb. 3

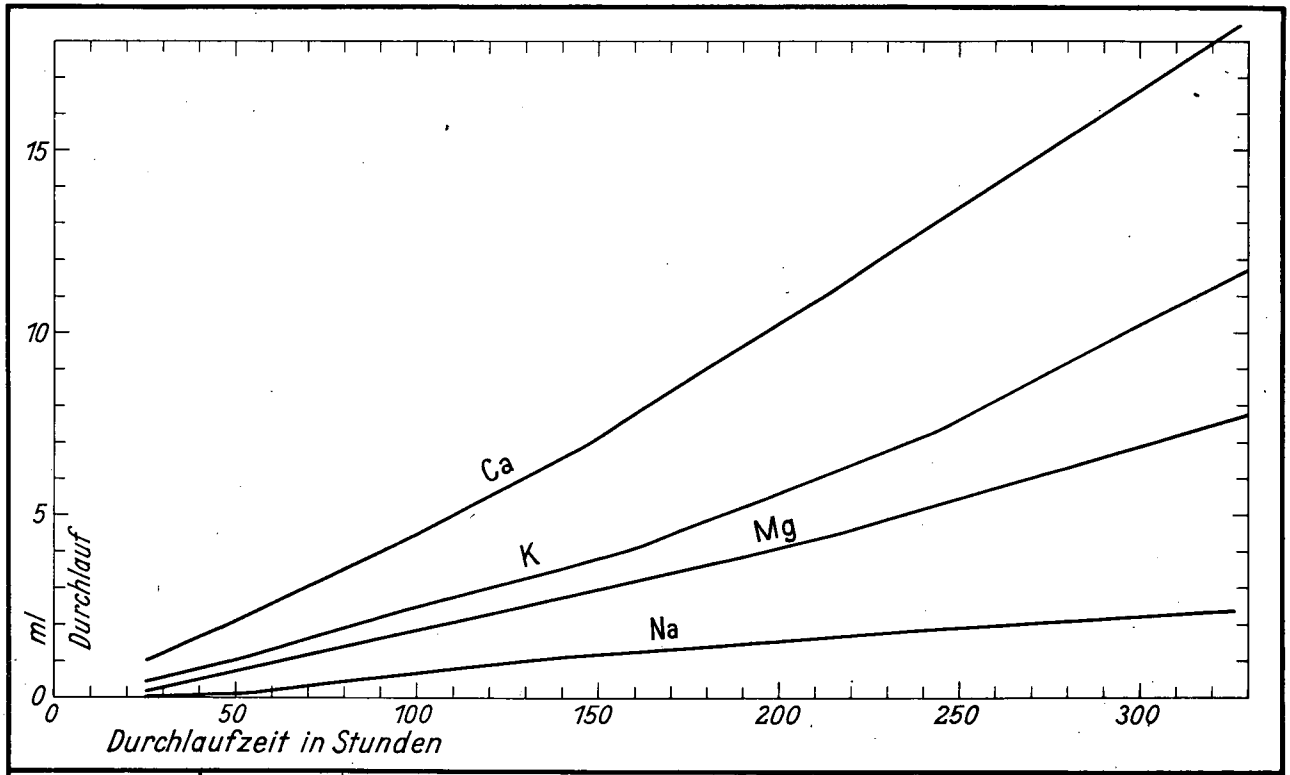
Durchlässigkeit und Bodentyp bei Marschböden



Durchlaufzeit in Stunden
0
20
40
60
80
100
Durchlauf in ccm Wasser
0
20
40
60
Na
Mg
K
Ca

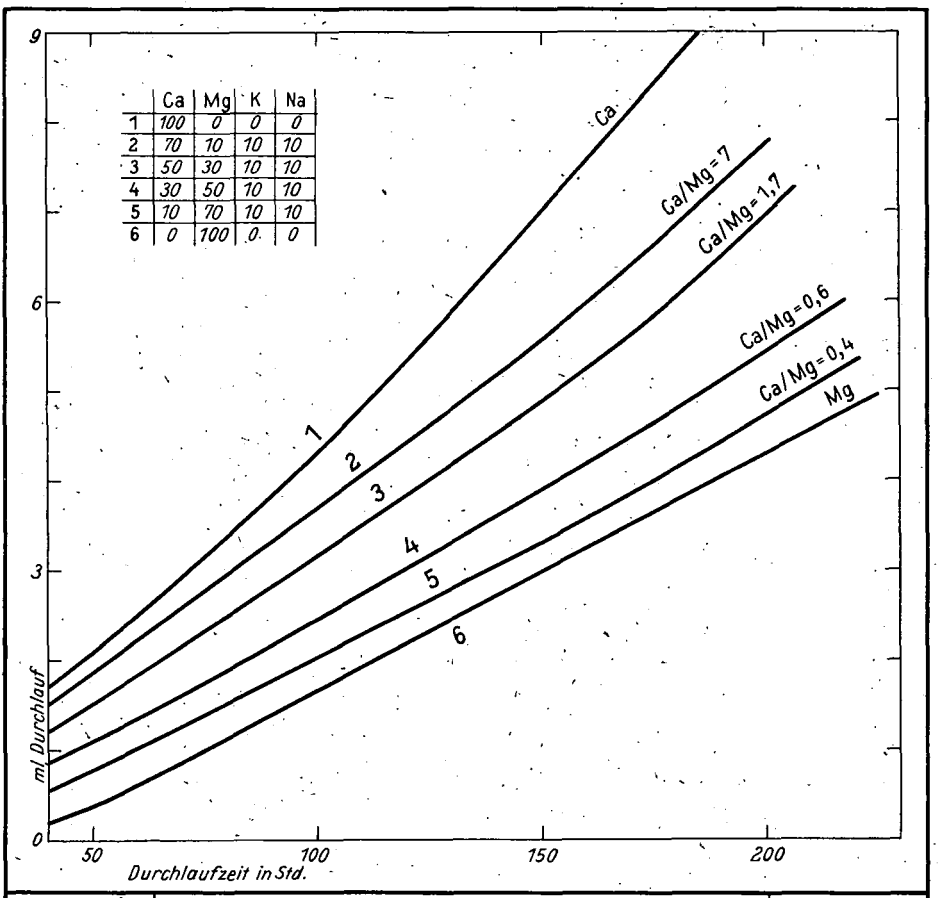
Abb. 4

Abb. 5



Müller & Fastabend 1960	Durchlässigkeit von Illit in Abhängigkeit von der Kationenbelegung	N.L.f.B. IV - 53

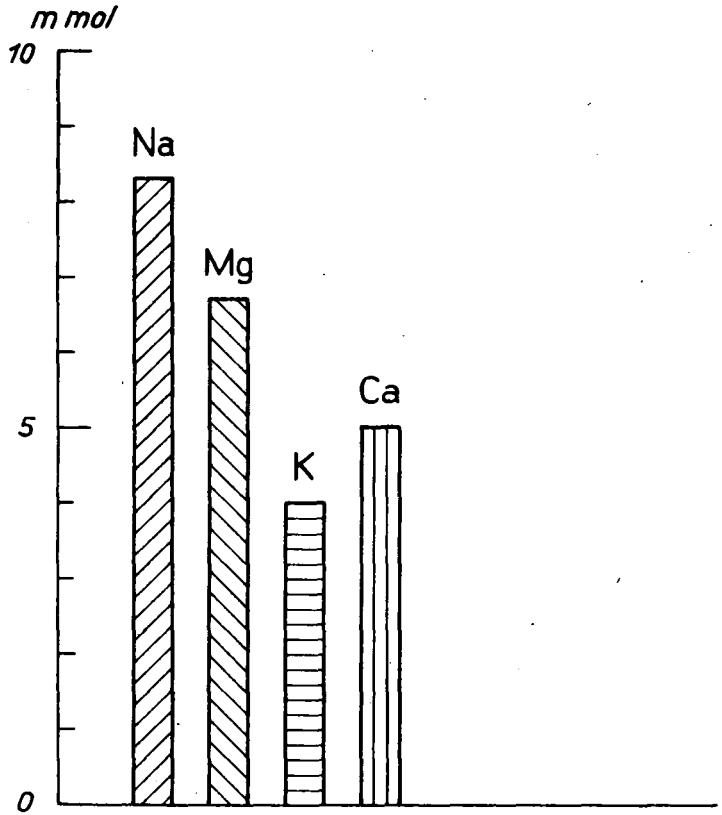
Abb.6



	Ca	Mg	K	Na
1	100	0	0	0
2	70	10	10	10
3	50	30	10	10
4	30	50	10	10
5	10	70	10	10
6	0	100	0	0

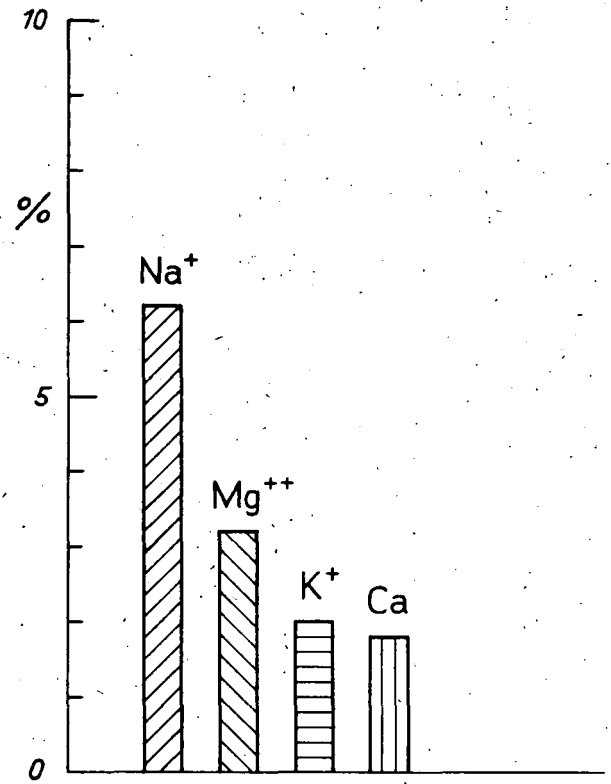
Müller & Fastabend 1960	Durchlässigkeit von Illit in Abhängigkeit von der Kationenbelegung	N.L.f.B. IV-54

Abb. 7



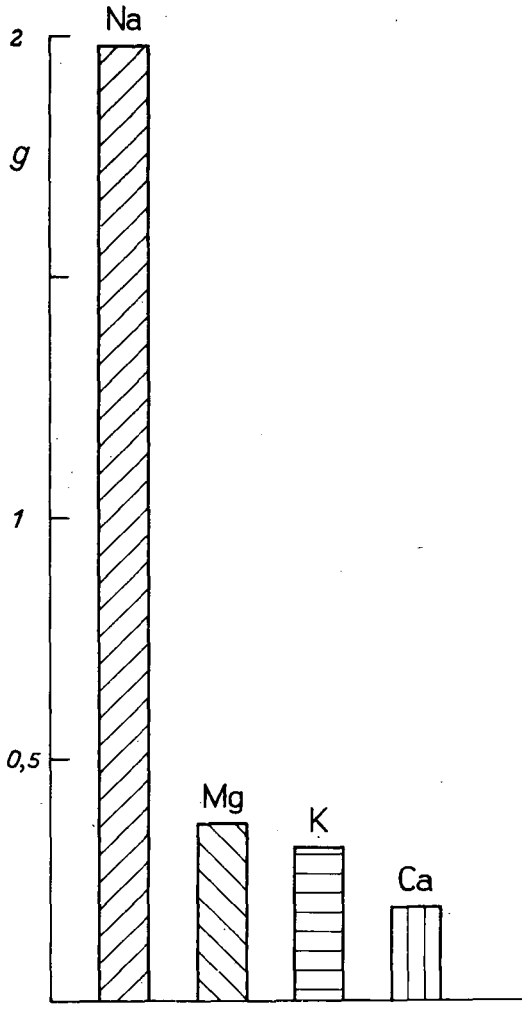
Millimole hygroskopisches Wasser
pro 1mval Austauschkation (n. Kühn)

Abb. 8



Dissoziationsgrad von Austausch-kationen bei verschieden abge-sättigten Tonen (Mattson 1938)

Abb. 9



Dispergierung von verschieden abgesättigten Böden in g/10 ml überstehender Lösg. nach 24 St. (nach Gedroiz)

Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft Bd. 1 S. 221-228, 1963

DIE BEDEUTUNG DER ADHÄSION FÜR DIE GEFÜGEAUSBILDUNG DES BODENS

von H. WOLKEWITZ[x)]

Für die Ausbildung und die Stabilität des Bodengefüges wird den Tonmineralen eine große Bedeutung beigemessen. Man stellt sich dabei vor, daß die Tonteilchen als "Klebemittel" zwischen den gröberen Bestandteilen, wie Sand und Schluffkörner, dienen. Hier soll der Versuch gemacht werden, diese verklebende Wirkung der Bodenteilchen direkt zu messen und sie zur Gefügestabilität im Boden in Beziehung zu setzen.

Da die Bindung innerhalb des Bodens meist Kohäsion genannt wird und hier der Ausdruck Adhäsion verwendet werden soll, ist es erforderlich, sich zunächst mit den beiden Ausdrücken auseinanderzusetzen.

Physikalisch versteht man unter der Adhäsion eine Erscheinungsform der Molekularkräfte, die bewirkt, daß Moleküle verschiedener Stoffe aneinander haften bleiben, während man den durch Molekularkräfte eines Stoffes bewirkten Zusammenhalt der Moleküle KOHÄSION nennt.

In der Bodenmechanik dagegen wird die Bindung zwischen den Bodenteilchen mit Kohäsion bezeichnet, während das Anhaften des Bodens an einem Gegenstand - z.B. an einer Spundwand - Adhäsion genannt wird.

BAVER unterscheidet scharf zwischen der Adhäsion, unter der er die Bindung der flüssigen Phase an die feste Phase versteht - also das Haften des Wassers an den festen Bodenteilchen oder auch an anderen Objekten, die in direkten Kontakt mit dem Boden gebracht werden - und der Kohäsion, unter der er den inneren Zusammenhalt der Wassermoleküle versteht, die als Brücke dienend in nassen Böden Bodenteilchen miteinander verbinden.

x) Institut f. Kulturtechnik und Grünlandwirtschaft, Berlin-Dahlem, Lentzeallee 76

Streng genommen entspricht lediglich die Bindung zwischen den einzelnen Wassermolekülen der physikalischen Definition der Kohäsion, während die Bindung zwischen den Bodenteilchen nach dieser Vorstellung eine Auswirkung der Adhäsion sein müßte. Demnach bezeichnet weder Kohäsion noch Adhäsion die Bindung innerhalb des Bodens korrekt und erschöpfend, sondern beide Vorgänge sind hier mit im Spiel und wirken in gleicher Richtung.

Die Bedeutung der Kohäsion für landwirtschaftlich genutzte Böden sah man in der Beurteilung der Bearbeitbarkeit und in der Beurteilung des Eindringwiderstandes gegen Pflanzenwurzeln. Dementsprechend war auch die Methodik aufgebaut. So erfolgte die Messung über den Eindringwiderstand eines Körpers z.B. einer Nadel, in den Boden oder über die Kraft, die erforderlich ist, um unter bestimmten Bedingungen Bodenproben zu zerbrechen oder zu zerreißen. Andere Wege zur Bestimmung der Kohäsion schlägt die Bodenmechanik ein, die den Scherwiderstand im Labor ermittelt.

Schon frühzeitig erkannte Schübler die Beziehungen zwischen der Korngröße und der Kohäsion

Atterberg stellte Abhängigkeiten von der Bodenfeuchte fest, arbeitete aber, da nach seiner Meinung das Ansetzen bei einer bestimmten Feuchte schwierig ist, mit der Feuchte 0, also mit der bei 105°C getrockneten Probe.

Johannson führte intensivere Untersuchungen der Kohäsion in Abhängigkeit von der Bodenfeuchte durch und stellte fest, daß alle seine Kurven von einem bestimmten Feuchtegehalt an einen Knick zeigten. Der Lage dieses Knickes mißt er große Bedeutung bei, zumal er feststellte, daß jeweils dort ein typischer Farbumschlag durch das Eintreten von Luft in den Boden auftrat. Oberhalb des Knickes, also nach der geringeren Feuchte, stieg die Kohäsion stark an, während sie auf der anderen Seite des Knickes nur langsam abnahm.

Baver weist darauf hin, daß bei diesem Punkt ein Umschlag in der Bindungsart also bei der feuchteren Probe über die Kapillarkräfte, bei den trockeneren durch die Molekularkräfte stattfindet.

Die Grundlage für unser Untersuchungsverfahren ist die Filmtheorie, die Haines aus der Oberflächenspannung der Wasserhäutchen in nassen Böden abgeleitet hat. Seine theoretischen Erwägungen beziehen sich auf die sogenannten idealen Böden, die aus Kugeln von gleichen Dimensionen bestehen. Bei niedrigem Feuchtegehalt umgibt das häutchenförmige Wasser die Berührungspunkte der Bodenteilchen ringförmig und bildet somit einen Meniskus aus, der die Teilchen aneinander zieht.

Die Summen dieser Anziehungskräfte der Menisken entsprechen der Bindungskraft im Boden (s. Abb. 1).

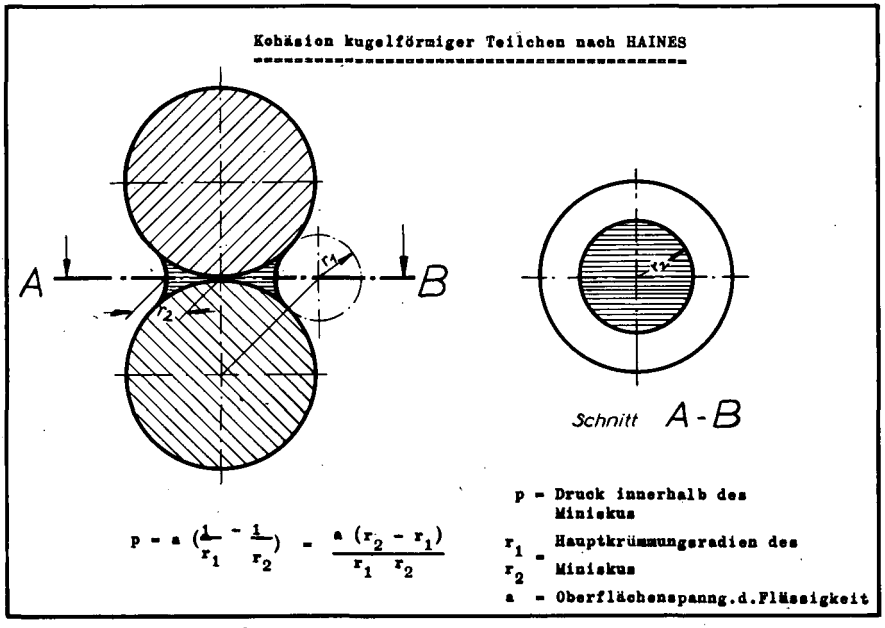
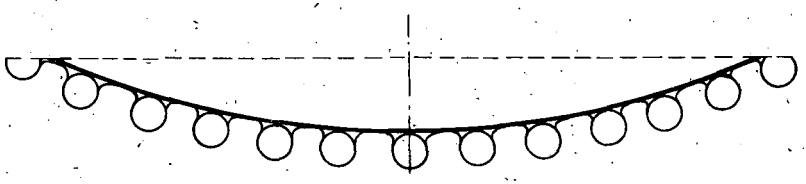


Abb. 1

Wir sind bei unseren Messungen so vorgegangen, daß wir eine Quarzkugel in Bodenproben verschiedener Feuchte einpreßten und die Kraft maßen, die erforderlich war, um diese wieder aus der Bodenmasse zu reißen. Die Quarzkugel, deren Oberflächen etwas aufgerauht war, soll das Modell grober Teilchen (Sand) darstellen, die durch die feinen Teilchen des Bodens miteinander verklebt werden. Bei diesem Modellversuch glauben wir, daß die Adhäsionskräfte lediglich durch die Menisken zwischen den Bodenteilchen und der Quarzkugel erzeugt werden.

Das Prinzip dieser Messung, allerdings in anderer Sicht (Ankleben des Materials an Arbeitsgeräten) wurde bereits von SCHACHBASIAN beschrieben. Unsere Apparatur wurde in Anlehnung an PANKOW gebaut. Allerdings veränderten wir den Meßkörper wesentlich. Als Meßgerät wurde eine einfache Waage umgebaut.



Anwendung der Theorie von HAINES auf die Adhäsionsmessungen

Abb. 2

An dem einen Waagebalken ist eine Vorrichtung angebracht, in der ein Becherglas sicher aufgestellt werden kann. An dem anderen Waagebalken ist der Meßkörper, die aufgerauhte Quarzkugel, mit einem Baumwollfaden befestigt. Der zu untersuchende Boden wird mit einem genau definierten Wassergehalt angesetzt und zur gleichmäßigen Verteilung des H_2O in einem geschlossenen Exsiccator 24 Stunden über Wasser aufbewahrt. Evtl. Gewichtszu- bzw. -abnahmen werden korrigiert. Der genaue Wassergehalt wird in einer Parallelprobe bestimmt. Dann wird der Boden unter Anwendung eines gleichmäßigen Druckes fest in den am Boden der Waage befestigten Behälter eingepreßt und dabei seine Oberfläche mit einem Nickelspatel sorgfältig glattgestrichen. Nun wird der Meßkörper genau senkrecht (ohne zu verkanten) bis zu einer durch eine Schablone begrenzten Tiefe in das zu untersuchende Material eingedrückt. Durch diese Schablone ist sowohl der Druck als auch die Tiefe des Eindrückens festgelegt. Nun wird sofort das an dem anderen Waagebalken befindliche Becherglas solange mit Wasser oder Quecksilber gefüllt, bis durch das Gewicht der Meßkörper aus der Bodenmasse gerissen wird. Dabei ist zu beachten, daß das Einfüllen der Gewichtssubstanzen immer gleichmäßig und aus gleicher Höhe erfolgt. Das Gewicht des verbrauchten Wassers bzw. Quecksilbers

entspricht der Adhäsionskraft, die dann noch auf eine Fläche von einem cm^2 umgerechnet wird. Angegeben wird die Adhäsion in g/cm^2.

Die Untersuchungsergebnisse, über die ich hier berichten will, stammen aus einer Arbeit, die ich über die Auswirkungen der Kationenbelegung und der Korngrößenverteilung auf die physikalischen Eigenschaften von Böden durchgeführt habe.

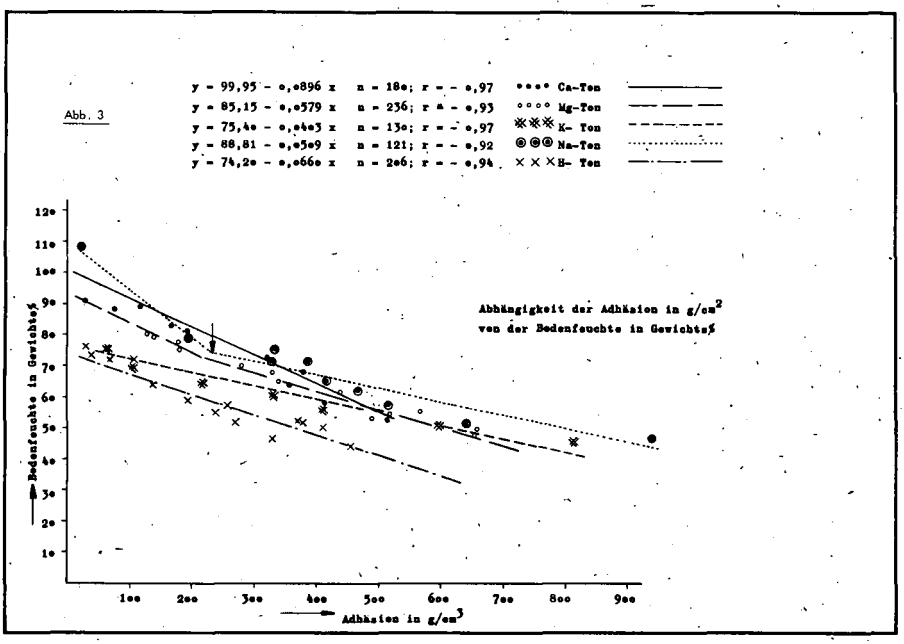
Die Untersuchungen erfolgten an einheitlichen Modellsubstanzen, die alle aus einer Probe eines Marschbodens hergestellt wurden.

Zur Frage der Kationenbelegung wurde sowohl der Originalboden, als auch der aus diesem gewonnene Ton mit Ca^{++}, Mg^{++}, K^+, Na^+ und H^+ aufgeladen. Diese Böden bzw. Tone werden dann als Ca-, Mg-, K-, Na-, H-Boden bzw. -Ton bezeichnet und sowohl im reinen Zustand als auch in verschiedenen Mischungsverhältnissen der Untersuchung unterzogen.

Zur Klärung der Auswirkung der Korngrößenverteilung wurden die einzelnen Fraktionen durch Abschlämmen gewonnen und sowohl einzeln als auch in verschiedensten Korngrößengemischen untersucht. Bei der Frage der Auswirkung der Kationen war die Korngröße jeweils innerhalb des Bodens und des Tones konstant, während die Auswirkung der Korngröße bei konstanter Kationenbelegung untersucht wurde. Insgesamt wurden etwa 70 verschiedene Proben hergestellt.

Die Adhäsionsmessungen erfolgten für jede einzelne Probe mit 20 Parallelen bei verschiedenen Wassergehalten. In Abbildung 3 sind die Ergebnisse als Mittelwerte der Einzeluntersuchungen und die berechneten Regressions-Geraden der Ca-, Mg-, K-, Na- und H-Tone in Abhängigkeit von der Bodenfeuchte dargestellt. Aus den hohen Korrelations-Koeffizienten von über 0,90 (die übrigens auch bei den anderen Proben nicht geringer waren) und bei der großen Anzahl der Untersuchungen kann die trotz der einfachen Methode gute Reproduzierbarkeit erkannt werden. Die Regression ist bei allen Proben über einen relativ großen Feuchtebereich linear. Nur die Kurven des Mg- und des Na-Tones zeigen zur höheren Feuchte hin einen Knick. Deutlich ist zu erkennen, daß das Na^+ im trockenen sowie im feuchten Zustand im Vergleich zu den anderen Kationen die höchsten Abhäsionswerte aufweist. Es folgen Ca-Ton, Mg-Ton, K-Ton und an letzter Stelle der H-Ton.

Abb. 3



Drückt man jedoch die Bodenfeuchte in ihrer Wasserbindungsintensität (die für jede einzelne Probe ermittelt wurde) aus, so kann man feststellen, daß die Verhältnisse sich umkehren (s.Tab.1). So hat der Ca-Ton bei pF 2,18 - also der Feldkapazität - die höchsten Adhäsionswerte von 195 g/cm^2. Es folgen Mg-Ton mit 75, H-Ton mit 40, K-Ton mit 5, und Na-Ton weist mit 0 g/cm^2 keine Adhäsion mehr auf. Diese Verhältnisse kommen auch deutlich bei der Ermittlung des pF-Wertes bei der Adhäsion = O zum Ausdruck. Es zeigt sich, daß bei Ca-Ton die Adhäsion erst bei einem pF-Wert $<$ 1,4 , beim Mg-Ton $<$ 1,7 und beim Na-Ton aber schon bei einem pF-Wert $<$ 2,4 = O ist.

Die Berechnung der Abhängigkeit der Adhäsion von den Kationen in den einzelnen Mischproben ergab eine hoch signifikante Korrelation des Ca-Ions von r = + 0,81, während das Mg-Ion mit r = + 0,24 zwar positiv, aber nicht gesichert ist. K-, Na- und H-Ionen zeigen dagegen eine negative Korrelation von -0,40, -0,41 und -0,45.

Kationen		Humus	pH		Ton in $Na_4P_2O_7 \cdot 10\,H_2O$	Ton in H_2O	Gefügestabilität	Adhäsion					
			H_2O	KCl				bei pF 2,18		bei Adhäsion = 0 g/cm²		bei Adhäsion = 50 g/cm²	
in % der AK		in %			in %	in %	in MGD	in g/cm²	Vol% H_2O	pF	Vol% H_2O	pF	Vol% H_2O
Ca 85,5	H 11,8	1,1	6,6	5,1	89,3	25,9	o,663	195	83,2	1,4	1o2	1,55	96
Mg 79,7	H 19,6	1,o	4,8	3,2	89,2	22,6	o,523	75	86,9	1,7	93	2,1o	89
K 84,1	H 12,5	1,1	6,1	3,7	91,8	43,3	o,196	5	85,1	2,2	84	2,5o	73
Na 76,2	H 19,4	1,4	5,4	2,7	91,9	84,3	o,1oo	0	125,o	2,4	1o7	2,5o	1o3
H 93,3	H 93,3	1,3	3,8	2,3	87,4	17,6	o,35o	4o	75,o	2,2	75	2,45	71

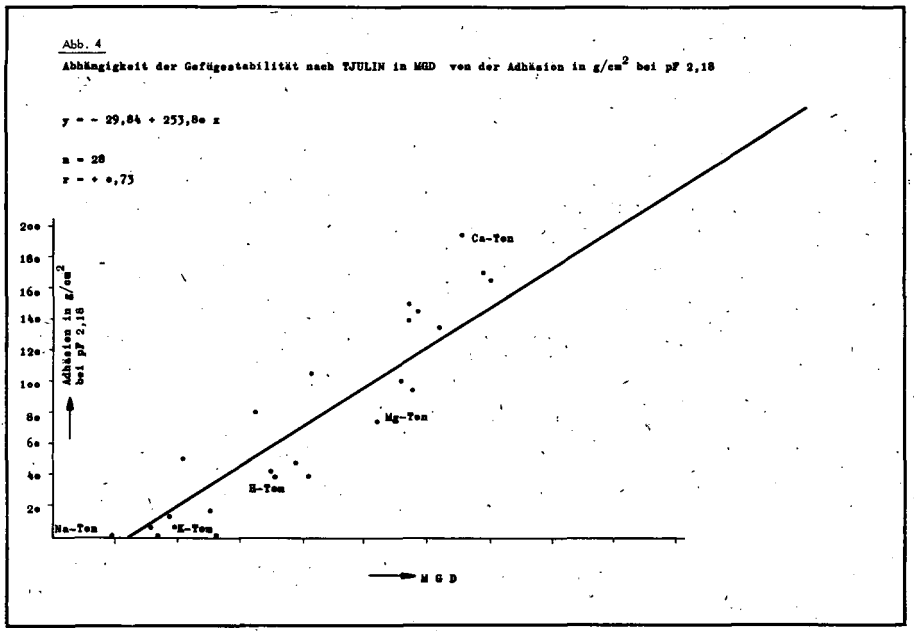
Tab. 1

Die erstaunlich geringen Adhäsionswerte des H-Tons der Einzelproben und die negative Korrelation bei den Mischproben weist - wenn unsere Adhäsionsmessungen über die Kapillarspannung tatsächlich die Bindungsverhältnisse in den Gefügeelementen repräsentiert - darauf hin, daß durch die Behandlung mit H die Gefügestabilität vermindert wird. Dies widerspricht bekannten Vorstellungen. Wir haben aber zur Klärung dieser Frage Gefügestabilitätsmessungen nach der Naßsieb Methode durchgeführt und konnten tatsächlich auch dort eine Verminderung der Gefügestabilität durch H-Ionen nachweisen. Die Erklärung der Widersprüche ist darin zu sehen, daß Wasserstoff den Ton stark ausflockt, diese groben Aggregate dann aber nach dem Gesetz von HAINES wegen des geringeren r_1 eine geringere Kapillarspannung aufweisen müssen.

Die starke Koagulation des durch das H-Ions konnte mittels Tonbestimmungen in Wasser nachgewiesen werden (s. Tab. 1).

Aus der Darstellung der Abbildung 4 geht eine sehr hohe Korrelation der Adhäsion bei pF 2,18 zur Gefügestabilität mit r = + 0,73 bei n = 28 hervor. Eine weitere Methode, die die Bindungsverhältnisse innerhalb eines Bodens charakterisieren kann, ist die Fließgrenze nach ATTERBERG. Auch hier liegt eine sehr hohe Korrelation zu den Adhäsionswerten vor. (r = + 0,98; n = 45).

Aus diesen Ausführungen geht u.a. auch hervor, daß Flockung und Gefügestabilität nicht das gleiche sind und daß die Adhäsionsmessungen geeignet sind, Aussagen über die Gefügestabilität, die durch die Verklebung der groben Bestandteile hervorgerufen war, zu machen, selbstverständlich können Gefügestabilitäten, die durch Kolloidverklebung im gealterten Zustand erfolgen nicht erfaßt werden.



Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft Bd. 1 S. 229-236, 1963

PORUNG UND WASSERBINDUNG IN PELOSOL-AGGREGATEN

von R. Sunkel[x)]

Die Größe der Bodenporen wird normalerweise indirekt über die Wasserbindung durch Aufstellen einer pF-Kurve ermittelt. Aus der Intensität der Wasserbindung wird auf den Äquivalentdurchmesser der Poren geschlossen (5). Bei Tonböden besteht die Schwierigkeit, daß sich Porenform und -größe in Abhängigkeit vom Wassergehalt durch Quellung und Schrumpfung ständig ändern. Um diese Tatsache zahlenmäßig ausdrücken und erfassen zu können, wurde mit Aggregaten eines Pelosols ein Versuch durchgeführt, bei dem die Beziehung zwischen pF-Wert und Wassergehalt sowie der Quellungszustand und das Porenvolumen der Aggregate gemessen wurden, letzteres aufgeteilt in luft- und wassererfüllte Poren. Die Untersuchungen mußten bzw. konnten an Aggregaten und nicht am gewachsenen Boden gemacht werden, weil bei der Nitzschmethode das sich bei stark quellenden Böden ständig ändernde Gesamtvolumen der Stechzylinderprobe nicht gemessen werden kann, die entsprechende Messung aber mit Hilfe der Apparatur zur Volumenbestimmung von Aggregaten möglich ist (6). Außerdem ist die Bodensubstanz des untersuchten Pelosols vollständig aggregiert, und mit Hilfe der Untersuchung an Aggregaten ist es möglich, eine Vorstellung über die Verteilung der Poren auf Inner-Aggregatporen und Zwischen-Aggregatporen zu bekommen.

Untersuchungsmaterial: 2-3 mm Aggregate (Gemisch von Polyedern und Krümeln) aus dem A_h eines Pelosols aus Tonmergel (Knollenmergel, km 5). Humusgehalt 8,8 %, Tongehalt 45 %, T-Wert 37,3 mval, Basensättigungsgrad 100 %, Carbonatgehalt 8,8 %, pH > 7.

Die lufttrockenen Aggregate wurden in 100-ml-Stechzylindern kapillar mit Wasser gesättigt und im Bereich von 0,2 - 0,8 Atm auf keramischen Platten, im Bereich von 1,15 - 15 Atm in der Druckmembranapparatur nach RICHARDS (4) und bei 50 Atm über 10%iger H_2SO_4 entwässert. Für die lufttrockenen

x) Institut f. Bodenkunde der Landwirtschaftlichen Hochschule Hohenheim
Direktor: Prof. Dr. E. Schlichting

Aggregate wurde der pF-Wert von 5,73 nach thermodynamischen Formeln errechnet (2). Nach Erreichen des Gleichgewichtes - die Dauer wurde in einem Vorversuch ermittelt - wurden Feuchtigkeit und scheinbares spezifisches Gewicht (6) der Aggregate bestimmt und aus diesen Werten und der Dichte der Bodensubstanz (ρ = 2,696) die obengenannten Daten errechnet (Tab. 1). Mit "Quellungszustand" wird das Volumen der Aggregate bezeichnet, bezogen auf das Volumen lufttrockener Aggregate (= 100). Zahlenmäßig beträgt er $Q = \frac{2,146 \times 100}{s'}$, wobei 2,146 das scheinbare spezifische Gewicht der lufttrockenen Aggregate ist.

Tab. 1: pF, Wassergehalt, scheinbares spezifisches Gewicht (s'), Porenvolumen (PV), Wasservolumen (WV), Luftvolumen (LV) und Quellungszustand (Q) von Pelosolaggregaten (Dichte ρ = 2,696)

pF	%H_2O	s'	PV	VW	LV	Q
2,30	19,3	1,687	37,4	32,6	4,8	127,2
2,48	18,7	1,720	36,2	32,2	4,0	124,8
2,60	18,3	1,728	35,9	31,6	4,3	124,2
2,70	17,9	1,775	34,2	31,8	2,4	120,9
2,85	17,7	1,765	34,5	31,2	3,3	121,6
2,90	17,0	1,791	33,6	30,4	3,2	119,8
3,06	16,7	1,783	33,9	29,8	4,1	120,4
3,08	17,2	1,784	33,8	30,8	3,0	120,3
3,08	16,1	1,837	31,9	29,6	2,3	116,8
3,30	16,9	1,798	33,3	30,4	2,9	119,4
3,36	15,2	1,841	31,7	28,0	3,7	116,6
3,60	14,1	1,857	31,1	26,7	4,9	115,6
3,86	13,3	1,879	30,3	25,0	5,3	114,2
4,03	12,3	1,958	27,4	24,1	3,3	109,6
4,17	12,6	1,932	28,3	24,3	4,0	111,1
4,18	13,0	1,898	29,6	24,7	4,9	113,1
4,18	13,3	1,918	28,9	25,4	3,5	111,9
4,70	9,1	2,031	24,7	18,5	6,2	105,7
5,73	3,8	2,146	20,4	8,2	12,2	100,0

Die Daten in Tabelle 1 sind nach den pF-Werten geordnet. Sowohl beim Wassergehalt als auch beim scheinbaren spezifischen Gewicht fallen einzelne Werte aus dieser Reihe heraus. Die Abweichungen sind aber unerheblich und sind auf methodische Fehler zurückzuführen (vergl. Parallelbestimmungen bei pF 3,08 und 4,17/4,18 sowie die Korrelationskoeffizienten in Tabelle 2).

Die Zunahme des scheinbaren spezifischen Gewichts und vor allem die daraus errechneten Werte des Quellungszustandes zeigen die starke Schrumpfung der Aggregate bei der Entwässerung. Das Aggregatvolumen ist bei etwa 20 % Feuchtigkeit um 27 % größer als bei Lufttrockenheit. Entsprechend der Schrumpfung nimmt das Porenvolumen der Aggregate um 17 % ab.

Das Luftvolumen beträgt überraschenderweise auch in gequollenem Zustand noch 2 - 5 %. Im Bereich von pF 2,3 - 4,2 ist keine Zu- oder Abnahme des Luftvolumens zu erkennen. Der Regressionskoeffizient für die Beziehung zwischen pF und LV beträgt b = + 0,22 und ist in keiner Weise gesichert von Null verschieden, d.h. die Regressionsgerade verläuft praktisch parallel zur X-Achse. Im Durchschnitt beträgt das Luftvolumen in diesem Bereich 3,8 %. Die Frage, ob es sich bei diesen 3,8 % um Grobporen handelt, die bei pF 2,3 bereits entwässert sind, kann mit ziemlicher Sicherheit verneint werden, weil in dem ganzen genannten pF-Bereich keine weiteren Poren unter Lufteintritt entwässert werden. Es muß angenommen werden, daß diese Luft in sehr feinen Poren durch Wasser eingeschlossen ist, eine von Aggregatstabilitätsbestimmungen her ganz bekannte Erscheinung. Gestützt wird diese Annahme durch die Tatsache, daß die Luft auch bei Befeuchtung im Vakuum nicht entweicht; man erhält auch danach praktisch denselben Wert (3,7 % LV).

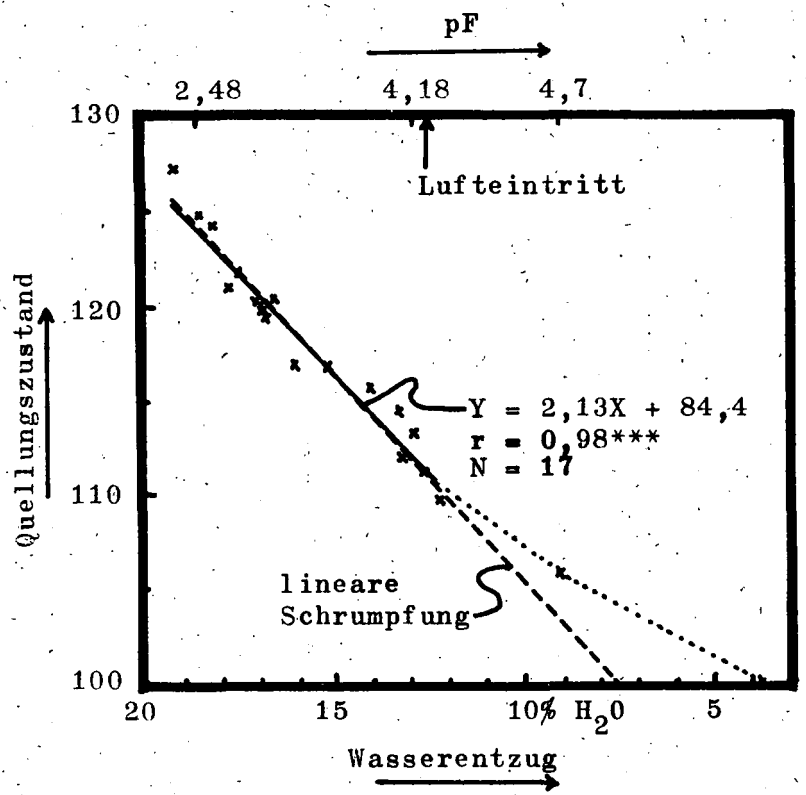


Abb. 1 : Schrumpfung von Aggregaten, bezogen auf das Volumen lufttrockener Aggregate (= 100)

In Abb. 1 kommt gut zum Ausdruck, daß die Schrumpfung im Bereich von 2,3 bis 4,2 pF fast genau der entzogenen Wassermenge entspricht, d.h., daß man hier im Bereich der "linearen Schrumpfung" (1) ist. Der Verlauf der gestrichelten Geraden für die lineare Schrumpfung wurde unter Zugrundelegen des eben erwähnten konstanten Luftgehaltes von 3,8 % errechnet. Die Gerade deckt sich fast völlig mit der Regressionsgeraden dieser 17 Proben.

Drückt man das Aggregatvolumen in ml aus, so beträgt der Regressionskoefizient der Beziehung zwischen entzogener Wassermenge und Aggregatvolumen b = - 0,992, d.h. bei 1 ml Wasserentzug schrumpfen die Aggregate in diesem Bereich um 0,99 ml.

Das hier Gesagte bedeutet, daß lineare Schrumpfung vorliegt, solange die mittleren Poren (0,2 - 10 µ, pF 2,5 - 4,2) entwässert werden, daß in diese Poren keine Luft eintritt, sondern daß der Lufteintritt erst oberhalb pF 4,2 erfolgt. Beim Entwässern der mittleren Poren schließen sie sich durch die Schrumpfung der Aggregate.

Den Lufteintritt in den Boden kann man beobachten, wenn man eine homogene Paste aus mit Wasser angerührtem Boden in einer Petrischale austrocknen läßt. Es zeigt sich bei Lufteintritt ein deutlicher Farbumschlag. Bei dem untersuchten Boden findet er bei 12,7 % Feuchtigkeit, d.h. dicht oberhalb pF 4,2 und damit im gleichen Bereich statt, bei dem der Lufteintritt in die Bodenaggregate gemessen wurde (Pfeil in Abb.1). Aus dieser Tatsache kann man - außer einer Bestätigung der gemessenen Werte - folgern, daß die innere Struktur dieser Aggregate der homogenen Paste vergleichbar ist.

Tab. 2: Korrelationskoeffizienten

pF	gegen	H_2O%	N = 19	r =	-0,982***
		s'	19		+0,980***
		LV	17		+0,150
H_2O%	gegen	s'	17		-0,979***
		100/s'	17		+0,977***
		Q	17		+0,977***

In Tabelle 2 wurden die wesentlichen Korrelationskoeffizienten noch einmal zusammengestellt. Die Beziehung zwischen pF und Wassergehalt ist bei diesen Proben in dem gemessenen Bereich linear. Die letzten vier Koeffizienten wurden ohne die Werte bei pF 4,7 und 5,7 errechnet, weil bei ihnen ja der Lufteintritt erfolgt bzw. die Schrumpfung nicht mehr linear ist. Der Wert 100:s' entspricht dem oben genannten Aggregatvolumen in ml, berechnet für 100 g Trockensubstanz, um in dieselbe Dimension wie beim Wassergehalt zu kommen. Die übrigen Abkürzungen sind in Tab. 1 erläutert.

Bei der Bestimmung der Porengrößenverteilung im Gesamtboden wird in der Regel von übersättigten Proben ausgegangen. Setzt man voraus, daß kein Analysenfehler dadurch entsteht, daß der Boden beim Befeuchten über den Stechzylinderrand quillt, und läßt man den Fehler unberücksichtigt, der dann entstehen kann, wenn man beim Umrechnen der in der Hochdruckapparatur erhaltenen Werte von Gewichts- auf Volumenprozente das Raumgewicht des lufttrockenen Bodens verwendet, das bei stark schrumpfenden Bö-

den beträchtlich höher ist als bei höherer Feuchtigkeit (s. Tab. 1), so erhält man bei der Bestimmung die Porengrößenverteilung bei maximalem Wassergehalt. Bei einem niedrigeren Gehalt verändert sich diese Porengrößenverteilung. Bei der Bestimmung selbst schrumpft meist der ganze Zylinderinhalt, und das, was man bei maximalem Wassergehalt als wassergefüllte Grobporen bestimmt hatte, befindet sich nicht mehr als Poren im Bodeninneren der Probe, sondern zwischen Probe und Zylinderrand. Im natürlichen Bodenverband ist eine so starke Quellung nur in der obersten Bodenschicht denkbar. In tieferen Schichten kann sich der Boden nicht mehr beliebig ausdehnen, es kommt zur Ausbildung eines "Quellungsdruckes" (3). Die Porengrößenverteilung, die man bei maximalem Wassergehalt bestimmt, kommt im Boden selbst also praktisch nicht vor.

In gewissem Umfang quillt natürlich auch der Boden im natürlichen Verband. Beim Austrocknen schrumpft er wieder, sackt etwas zusammen und bildet Risse. Es wurde gezeigt, daß sich in den Aggregaten des hier untersuchten Pelosols beim Austrocknen alle Grob- und Mittelporen durch Schrumpfung schließen. Soweit die Bodenoberfläche beim Trocknen nicht sackt, müssen an Stelle der wassergefüllten Grob- und Mittelporen innerhalb der Aggregate entsprechende Hohlräume und Risse zwischen den Aggregaten entstehen. Aus Abb. 2 kann man den unterschiedlichen Anteil an Grob-, Mittel- und Feinporen innerhalb der hier untersuchten Aggregate bei verschiedenen pF-Werte ablesen.

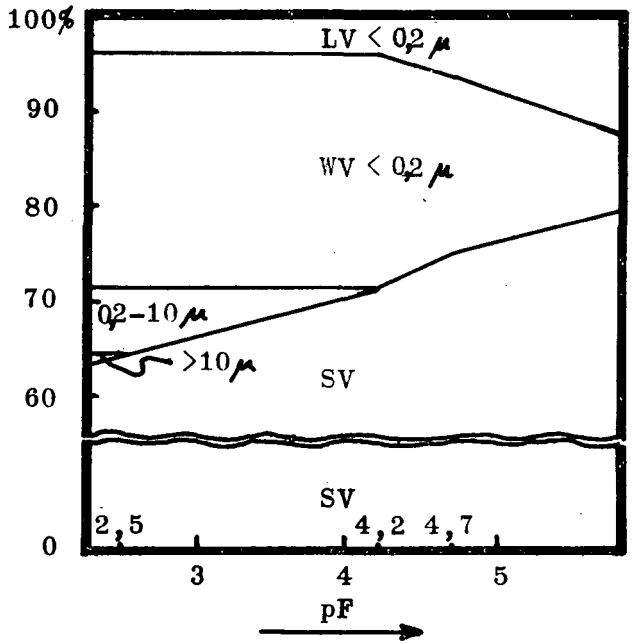


Abb. 2 : Änderungen in der Porengrößenverteilung in Abhängigkeit vom pF (schematisiert)

Die Schrumpfung zeigt sich hier in einer Zunahme des Substanzvolumens (SV), da das Aggregatvolumen, das bei der Schrumpfung kleiner wird, hier = 100 gesetzt wurde. Es ist deutlich zu sehen, wie die Mittelporen (0,2 - 10 µ) bei höheren pF-Werten abnehmen und oberhalb von pF 4,2 ganz verschwinden. Grobe Poren (> 10 µ) existieren nur unterhalb pF 2,5. Ihre Zahl nimmt bei stärkerer Befeuchtung entsprechend der aufgenommenen Wassermenge zu. Das wurde in Abb. 2 nicht mit dargestellt, weil unterhalb pF 2,3 nicht mehr gemessen wurde. Außerdem wird bei stärkerer Befeuchtung sehr bald die Grenze erreicht, bei der die Aggregate zerfallen, so daß auch die Zahl der wassererfüllten Grobporen in den Aggregaten nie sehr groß ist. Das konstante Luftvolumen unterhalb pF 4,2 wurde, wie oben begründet, den Feinporen zugerechnet. Oberhalb von pF 4,2 dringt Luft in die Aggregate ein; die Schrumpfung ist geringer, als dem Wasserentzug entspricht (residual shrinkage nach HAINES, 1).

Daß in diesen Aggregaten nur bei stärkerer Befeuchtung, an der Grenze des Aggregatzerfalls, größere Poren bestehen, ist für das Pflanzenwachstum insofern von Bedeutung, als die Wurzeln innerhalb der Bodenaggregate kaum Hohlräume vorfinden, in die sie hineinwachsen können.

Durch den geschilderten Versuch konnte folgendes gezeigt werden:

1. Bei den untersuchten Pelosolaggregaten besteht eine enge, lineare Beziehung zwischen pF und Wassergehalt sowie zwischen diesen Größen und der Quellung und Schrumpfung.

2. Bei 20 % Feuchtigkeit ist das Aggregatvolumen um 27 % größer als bei Lufttrockenheit.

3. Die Schrumpfung verläuft bis dicht oberhalb pF 4,2 (12,7% H_2O) linear, d.h. sie entspricht der entzogenen Wassermenge.

4. Auch bei einer homogenen, angefeuchteten Bodenpaste erfolgt der Lufteintritt beim Trocknen bei 12,7 % Feuchtigkeit, woraus auf eine ähnlich homogene Struktur der Aggregate geschlossen wird.

5. Auch im Bereich der linearen Schrumpfung sind im Durchschnitt 3,8 % Luft in den Aggregaten eingeschlossen. Sie können wegen des Verschlusses der Aggregatporen durch Wasser selbst im Vakuum (1 Atm) nicht entweichen.

6. Die Grob- und Mittelporen schließen sich bei höheren pF-Werten durch Schrumpfung, wobei sich im Bodenverband gleichzeitig Poren zwischen den Aggregaten öffnen.

7. Innerhalb der Aggregate bestehen kaum Grobporen, wodurch das Eindringen von Pflanzenwurzeln erschwert wird.

Schrifttum

(1) HAINES, W.B.: J.Agric.Sci.13, 296-310 (1923), zit.n. BAVER, L.D.: Soil Physics, 3.Aufl., New York, London 1956.

(2) KORTÜM, G.: Einführung in die chemische Thermodynamik, 3.Aufl., Göttingen 1960, S. 259 u. 269.

(3) KUNTZE, H.: Z.Pflanzenernähr., Düng., Bodenkunde 96, 97-105 (1962).

(4) RICHARDS, L.A.: Soil Sci.68, 95-112 (1949).

(5) SCHACHTSCHABEL, P., u. HARTGE, K.: Landwirtsch.Forsch.12.Sonderh. 30-36 (1959).

(6) SUNKEL, R.: Z.Pflanzenernähr., Düng., Bodenkunde 89, 17-27 (1960).

Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft Bd. 1 S. 237-248, 1963

GEDANKEN ZUR ANSPRACHE DER BODENART DES FEINBODENS

W. Müller[x)]

Einleitung

Im folgenden soll ein kleines Teilgebiet aus dem Komplex von Fragen behandelt werden, die sich bei der Ansprache der Bodenart des Feinbodens ergeben. Dieses Teilgebiet soll Probleme umfassen, die in Zusammenhang mit der Korngrößenanalyse auftreten können. Hierbei sollen nicht methodische Einzelheiten oder eine neue Methode erörtert werden. Ich möchte mich vielmehr der vielleicht etwas schwierigen Frage zuwenden, wann die nach einer der üblichen Analysenmethoden gefundenen Werte überhaupt akzeptabel sind.

Es ist allgemein bekannt, daß die verschiedenen Analysenmethoden unterschiedliche Ergebnisse liefern. Auch bei gleicher Methode sind die Vergleichbarkeit und die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse oft überraschend schlecht. Dieser Zustand ist recht unbefriedigend. Weitere Verbesserungen der Methodik sind zwar sehr begrüßendwert, auch sie können jedoch nicht die Frage lösen, ob die jeweils erzielten Werte nun tatsächlich besser, d.h. richtiger als andere sind.

Bezeichnung und Abgrenzung der Kornfraktionen

Von einer einheitlichen Ansprache der Bodenart sind wir noch weit entfernt. Die Einteilungsgrundlage aller moderneren Vorschläge dieser Art sind die Anteile bestimmter Kornfraktionen. Die erste Voraussetzung für das Gelingen der heute weitverbreiteten Bestrebungen, die Ansprache der Bodenart zu vereinheitlichen, sind einheitliche Bezeichnungen und Abgrenzungen der Kornfraktionen.

x) Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung, Hannover, Wiesenstr. 1

Auch heute wird gelegentlich noch eine Einteilung angewendet, die die abschlämmbaren Teile heranzieht. Die Bezugsgröße dieser Teile ist ebenfalls uneinheitlich. In einem Falle handelt es sich dabei um die Kornfraktion $< 20\ \mu$ im anderen um die Fraktion $< 10\ \mu$.

Für eine genügend eingehende Kennzeichnung der Bodenart reicht jedoch die Unterteilung nach den Anteilen nur einer Kornfraktion nicht aus, sind doch die spezifischen Eigenschaften der Schluff-, Sand- und Tonfraktionen so unterschiedlich, daß die Anteile dieser Fraktionen für die Kennzeichnung der Bodenarten unbedingt berücksichtigt werden müssen.

Modernere Einteilungen berücksichtigen daher 3 Hauptfraktionen - die Sand-, Schluff- und Tonfraktion. Leider wird die Abgrenzung dieser Fraktionen auch heute noch nicht einheitlich gehandhabt. Dies trifft vor allem für die Fraktion 20 - 63 μ zu, die einmal zu den Sanden als Feinstsand, Staubsand, Mehlsand usw. zum anderen zu den Schluffen als Grobschluff gerechnet wird.

Nun reicht die Sandfraktion - wie allgemein anerkannt wird - im Grobsand bis zu einem Korndurchmesser von 2 mm. Mit den Eigenschaften der Sande - auch der feineren - hat die Fraktionen 20 - 63 μ jedoch recht wenig gemeinsam. Sie tendiert sehr viel stärker zu den Schluffen hin.

Ich möchte daher hier dafür plädieren, die Fraktion 20 - 63 μ einheitlich als Grobschluff zu den Schluffen zu rechnen - entsprechend den Vorschlägen von KURON und den Angaben der DIN 4220. Auf diese Weise könnte ein Teil der Mißverständnisse bei der Bodenartenansprache von vornherein vermieden werden.

Die Bezeichnung und Abgrenzung der Kornfraktionen wären demnach folgendermaßen festgelegt:

Korndurchmesser in µ	Korndurchmesser in mm	Bezeichnung der Fraktionen des Feinbodens	Abkürzung
< 2	< 0,002	Ton	T
2 - 6	0,002 - 0,006	Fein-	fU
6 - 20	0,006 - 0,020	Mittel- Schluff	mU
20 - 63	0,020 - 0,063	Grob-	gU
63 - 200	0,063 - 0,20	Fein-	fS
200 - 630	0,20 - 0,63	Mittel- Sand	mS
630 - 2000	0,63 - 2,00	Grob-	gS

Dispergierungsfragen

Geht man davon aus, daß die erste Voraussetzung für eine einheitliche Bezeichnung der Bodenart auf Grund der Korngrößenzusammensetzung erfüllt ist - die einheitliche Bezeichnung und Abgrenzung der Kornfraktionen - so ergeben sich weitere, schwierigere Probleme. Da die Fraktionen ja erst durch bestimmte Analysenverfahren gewonnen werden müssen, erhebt sich nun die Frage, ob diese Verfahren wirklich vergleichbare Kornfraktionen liefern.

Die Kornfraktionen sollen Gruppen mineralischer Bodenkörner einer jeweils definierten Größenordnung umfassen. Wie weit ist nun dieses Ziel erreichbar?

Im Boden sind die mineralischen und organischen Bestandteile verschiedener Größenordnung im Normalfall zu Bodenkörpern unterschiedlicher Größe sozusagen zusammengebacken, und zwar in unterschiedlichem Grade, je nach der Zusammensetzung des Bodens. Um die Anteile der einzelnen Kornfraktionen feststellen zu können, muß man den Boden in seine Einzelbestandteile zerlegen, ihn dispergieren. Die Frage ist nun, wann diese Trennung der Einzelteilchen tatsächlich erreicht ist, so daß dann die Anteilsverhältnisse der einzelnen Kornfraktionen wirklich ausreichend genau ermittelt werden können. Das Problem ist also festzustellen, ob eine ausreichende Dispergierung erreicht worden ist.

Um den Boden zu dispergieren, werden ihm im allgemeinen verschiedene Lösungen zugesetzt, die in bestimmter Konzentration meist Ammonium-, Natrium- oder Lithiumsalze enthalten. Unter Mithilfe rein mechanischer Behandlungen wird so eine mehr oder weniger intensive Zerteilung der Bodenaggregate erreicht.

Gelegentlich wird die Ansicht vertreten, daß der Boden nur mild dispergierenden Einflüssen ausgesetzt werden sollte. Zuweilen wird in diesem Zusammenhang von einer "natürlichen Korngrößenzusammensetzung" des Bodens gesprochen, die man erfassen sollte. Das würde also bedeuten, daß relativ stabile Aggregate als Bodenkörner aufgefaßt werden. Dazu ist zunächst festzustellen, daß die Stabilität der Bodenaggregate von verschiedenen und auch sehr wechselhaften Einflüssen abhängt. Die "milde" Dispergierung - im Extremfall wird nur mit Wasser aufgeschlämmt - kann daher niemals eine Bodenkonstante erfassen, sondern immer nur einen bestimmten Zustand des Bodens. Natürlich kann ein solches Ergebnis sehr aufschlußreich sein. Es muß jedoch klar festgestellt werden, daß derartige Untersuchungsverfahren mit "milder" Dispergierung keine Korngrößenuntersuchungen im eigentlichen Sinne, sondern Aggregatstabilitäts-Untersuchungen sind. Man sollte diese sehr verschiedenartigen Dinge eindeutig auseinanderhalten. Eine Korngrößenanalyse, die ihren Namen zu Recht führt, müßte also eine möglichst vollständige Zerteilung der Aggregate und Herauslösung der Einzelkörner durch eine genügend starke Dispergierung anstreben. Allerdings ist eine derartige Forderung leichter zu erheben als zu erfüllen. Wo soll die Grenze der Dispergierung liegen? Gibt es eine Möglichkeit, den vagen Ausdruck "ausreichende Dispergierung" exakter zu definieren?

Nun wird man sagen können, daß sich diese Frage am besten ausschalten läßt, wenn man sich konventionell auf eine bestimmte Dispergierungsmethode

einigt. In letzter Zeit hat sich weitgehend die Dispergierungsmethode von JUNG-LÜTTMER verbreitet, die mit einer 0,01 n Natrium-Pyrophosphatlösung als Dispergierungsmittel arbeitet.

Man wird allerdings nicht übersehen dürfen, daß Bestrebungen, sich auf eine bestimmte Methode zu einigen, meist ein sehr schwieriges Unterfangen sind. Aber selbst wenn das gelingen würde, wäre dann das Problem wirklich gelöst? Bei umfangreichen Vergleichsuntersuchungen mit dem gleichen Untersuchungsmaterial und bei Anwendung der gleichen Methodik haben sich dennoch z.T. recht große Differenzen der Analysenergebnisse herausgestellt. Bei schwer dispergierbarem Material traten z. B. Differenzen von >100 % im Tongehalt auf.

Von größtem Einfluß auf die Dispergierung war hierbei der Humusgehalt. Die Oxydation der organischen Substanz durch Vorbehandlung mit Wasserstoff-Peroxyd erwies sich als unbedingt zweckmäßig. Dies war vor allem bei Humusgehalten oberhalb 1,5 % der Fall. Aber auch die Humusart, der Kalkgehalt, die Kationenbelegung, die Intensität und Dauer der Probentrocknung waren unter anderen von Einfluß auf die Dispergierung und damit auf das Analysenergebnis.

Kontrollmöglichkeiten der Dispergierung

Die Frage bleibt also bestehen: Gibt es eine Möglichkeit, den Begriff "ausreichende Dispergierung" zu definieren? Hierzu sollen folgende Überlegungen zur Diskussion gestellt werden.

Die Verkittung der Primärteilchen geht - wenn wir von dem Humus einmal absehen - vor allem von der Tonfraktion aus. Wenn die Abtrennung der Tonfraktion durch "ausreichende Dispergierung" gelungen ist, so ist anzunehmen, daß die gröberen Schluff- und Sandfraktionen ebenfalls richtig erfaßt werden können. Wie kann man nun feststellen, daß die Tonfraktion ausreichend abgetrennt und erfaßt worden ist?

Wenn wir bei dieser Überlegung wieder vom Humus absehen, so geht die Sorptions- oder Austauschkapazität eines Bodens hauptsächlich von den Tonmineralien aus, die ja überwiegend in der Tonfraktion enthalten sind. Die Sorptionskapazität gröberer Fraktionen ist so gering, daß sie hier außerhalb der

Betrachtungen bleiben kann. Es müßte also eine Beziehung bestehen zwischen dem Tonmineralbestand eines Bodens, der Sorptionskapazität, die von diesen Mineralien ausgeht, und der Sorptionskapazität des Gesamtbodens.

Nehmen wir einmal an, die Tonfraktion eines Bodens bestünde völlig aus Illiten und diese Illite hätten eine Sorptionskapazität von 50 mval/100 g Ton. Analytisch soll ein T-Wert von 25 mval/100 g humusfreien Boden festgestellt sein. Der Tongehalt eines solchen Bodens müßte dann bei 50 % liegen.

Nehmen wir weiter an, aus der Korngrößenanalyse dieses Bodens ergäbe sich ein Tongehalt von nur 20 %, dann würden also auf diese 20 % Ton = 25 mval Sorptionskapazität entfallen, das würde bedeuten, daß 100 g dieses Tones eine Sorptionskapazität von 125 mval besäßen. Es ist wohl leicht einzusehen, daß eine so hohe Sorptionskapazität insbesondere bei Vorherrschen illitischer Tonminerale unmöglich ist. In einem solchen Fall ist mit ziemlicher Sicherheit zu sagen, daß der Anteil des analysierten Tongehaltes zu niedrig ausgefallen ist, die Dispergierung also ungenügend war.

Bekanntermaßen liegen ja die häufigsten Werte für die Sorptionskapazität bei den

Kaoliniten	etwa zwischen	5 - 10 mval
Muskowit-Illiten		10 - 50 "
Montmorilloniten		50 -100 "

Man wird zweifellos nicht fordern können, daß zu jeder Korngrößenanalyse jeweils Tonmineraluntersuchungen vorgenommen werden. Das ist zur Feststellung der Frage, ob die Dispergierung ausreichend war, auch nicht notwendig.

Aus zahlreichen Untersuchungen geht hervor, daß Tonminerale aus der Gruppe der Illite sehr häufig überwiegen. Die Montmorillonit-Anteile stehen meist an zweiter Stelle. Ihre höhere Sorptionskapazität wird jedoch zum Teil durch andere Tonminerale mit geringerer Sorptionskapazität aufgewogen.

Nicht zu vergessen ist hierbei der oft hohe Quarzanteil in der Tonfraktion, der die Sorptionskapazität weiter herabsetzt.

Es ist somit zu erwarten, daß die Sorptionskapazität der Tonfraktion in den allermeisten Fällen etwa um 50 mval/100 g Ton liegt. Werden wesentlich

höhere Sorptionskapazitäten errechnet, evtl. sogar solche, die im Bereich der Werte reiner Montmorillonite liegen, so ist eine Wiederholung der Korngrößenanalyse zu empfehlen. In den allermeisten Fällen wird sich bei einer solchen Überprüfung herausstellen, daß die hohe Sorptionskapazität der Tonfraktion nicht auf einen hohen Anteil stark sorptionsfähiger Tonminerale zurückzuführen ist, sondern dadurch hervorgerufen wird, daß keine ausreichende Dispergierung erreicht, d.h. ein zu geringer Anteil der Tonfraktionen erfaßt wurde.

Wir hätten also hier einen - wenn auch nur einigermaßen groben - objektiven Maßstab, um feststellen zu können, ob die Dispergierung ausgereicht hat oder nicht.

Das Berechnungsverfahren selbst ist einfach und ohne großen Aufwand durchzuführen. Es setzt nur voraus, daß die für die sonstige Beurteilung der Böden ja wichtigen Daten des Humusgehaltes und des T-Wertes bekannt sind. Zunächst wird der T-Wert der Tonfraktion in Annäherung errechnet, indem man vom T-Wert des Gesamtbodens den vermutlichen T-Wert der organischen Substanz abzieht. Da das Ganze sowieso nur eine Überschlagsberechnung ist, erübrigt sich eine aufwendige Bestimmung der Sorptionskapazität des Humus. Man setzt für ihn einen mittleren T-Wert von 2 mval pro g Humus ein.

> Wenn man genauer sein will, kann man diese Werte je nach dem pH-Wert zwischen 1,8 und 2,5 mval variieren. Diese T-Werte wurden in einer Reihe von speziellen T-Wert-Bestimmungen der organischen Substanz im NLfB ermittelt. Gelegentlich auftretende extremere T-Werte der organischen Substanz können hier unberücksichtigt bleiben.

Bei höheren Schluffgehalten kann man auch noch den T-Wert des Schluffes berücksichtigen. Dieser Wert liegt nach unseren Untersuchungen etwa bei 0,05 mval pro g Schluff.

An folgendem Beispiel soll der Rechengang näher erläutert werden:

Der T-Wert des Bodens wurde ermittelt mit:	23 mval
von diesem T-Wert werden abgezogen:	
Humusgehalt = 3 % · 2 mval	6 mval
Schluffgehalt = 40 % · 0,05 mval	2 mval
es verbleibt für den ermitelten Tongehalt von 35 % der T-Wert:	15 mval
Das würde bedeuten, daß 100 g dieses Tones einen T-Wert von $\frac{15 \cdot 100}{35}$ =	43 mval

besitzen. Bei einem Boden, der einen hohen Illitanteil, einen gewissen Montmorillonitgehalt und geringe Anteile von wenig sorptionsfähigen Tonmineralen und Quarz in der Tonfraktion aufweist, bei einem ganz normalen Boden also, wäre dieser T-Wert der Tonfraktion durchaus zu erwarten.

Selbstverständlich ist dieses Überprügungsverfahren bei Proben mit kleinem T-Wert sehr unsicher und kaum anwendbar.

Bei einer größeren Anzahl von Marschböden, die auf ihren Mineralbestand untersucht wurden, ergaben sich T-Werte/100 g Tonfraktion zwischen 40 - 50 mval.

Zusammenfassung und Schlußbetrachtung

Es wird heute allgemein eine Vereinheitlichung der Bodenartenansprache angestrebt. Kaum umstritten ist, daß hierbei die Korngrößenzusammensetzung des Feinbodens zugrunde gelegt werden sollte.

Erste Voraussetzung für das Gelingen solcher Bestrebungen ist, die zu unterscheidenden Kornfraktionen einheitlich zu bezeichnen und abzugrenzen. Da diese Voraussetzung z.Zt. noch nicht erfüllt ist, wurde auf die u.a. in der Vornorm der DIN 4220 festgelegten Bezeichnungen und Abgrenzungen der Kornfraktionen hingewiesen, die sich als Grundlage der erwähnten Einigungsbestrebungen anbieten.

Die zweite Voraussetzung ist das Gelingen der Trennung der im Boden vorhandenen Kornkörper, d.h. eine ausreichende Dispergierung durch das angewendete Analysenverfahren. Nur dann ist die tatsächliche Korngrößenzusammensetzung eines Bodens zu ermitteln. Analysenverfahren mit "milder" Dispergierung sind keine Korngrößenanalysen im eigentlichen Sinne, sondern eher Aggregatstabilitätsmessungen.

Die Erzielung einer ausreichenden Dispergierung ist schwierig. Die Einigung über ein Analysenverfahren mit einer über das übliche Maß hinausgehenden Festlegung methodischer Einzelheiten wäre hierbei ein großer Fortschritt. Entsprechende Bestrebungen sind innerhalb der Geologischen Landesämter der Bundesrepublik und gleichzeitig im Rahmen der Vorbesprechungen für die Neufassung der DIN 4222 im Gange. Um die Sicherheit und Reproduzierbar-

keit der Ergebnisse zu gewährleisten, wird hierbei eine angenähert objektive Kontrolle der Dispergierung angestrebt.

Dieses Kontrollverfahren besteht darin, daß eine Beziehung zwischen den analytisch ermittelten Daten des Tongehaltes und der Austauschkapazität (T-Wert) der mineralischen Bodenkomponente hergestellt wird. Die T-Werte der Tonfraktion müssen in der theoretisch zu erwartenden Größenordnung liegen. Ist dies nicht der Fall, sollten die zugrunde liegenden Analysen überprüft werden. Meist wird sich herausstellen, daß die Dispergierung ungenügend war.

Nur Untersuchungen, bei denen die ganannten Voraussetzungen erfüllt sind. können bei der Bearbeitung der sehr schwierigen Probleme herangezogen werden, die die Bestrebungen zur Vereinheitlichung der Bodenartenansprache mit sich bringen. Weitere Voraussetzungen einer sinnvollen Abgrenzung der Bodenarten können hier nur abschließend kurz gestreift werden.

Die zu schaffenden Gruppen und Untergruppen der Bodenarten müssen im Gelände ansprechbar sein und jeweils Bodenarten zusammenfassen, die sich durch ihre bodenartlich bedingten Eigenschaften von den benachbarten Gruppen unterscheiden. Die Festlegung der Abgrenzung kann somit nur empirisch auf Grund von Fingerproben, niemals jedoch schematisch nach willkürlich festgelegten Fraktionsanteilen durchgeführt werden. Hierbei ist besonders zu berücksichtigen, daß die Auswirkung bestimmter Anteile der verschiedenen Kornfraktionen auf die Eigenschaften des Gesamtsubstrates ja durchaus unterschiedlich ist. Auf eine schematische Abgrenzung nach Analysenergebnissen kann auch deshalb verzichtet werden, weil die Mitteilung der Analysendaten dann selbst einen viel genaueren Eindruck vermitteln würde.

Weiterhin sollte aus Zweckmäßigkeitsgründen die Abgrenzung der Bodenartengruppen sowohl in tabellarischer Form als auch in jeder beliebigen Diagrammdarstellung möglich sein.

Hinsichtlich der Benennung der Bodenartengruppen sollte angestrebt werden, daß aus ihr bereits weitgehend die Anteilsverhältnisse der für die Eigenschaften wichtigsten Kornfraktionen hervorgeht. Ausdrücke wie "streng", "schwer" usw. sollten also vermieden werden. Die Namengebung sollte sich möglichst weitgehend nur auf die Benennung der Kornfraktionen stützen.

Die Abgrenzung und Benennung sollten in der Form erfolgen, daß verschiedene Haupt- und Untergruppen unterschieden werden. Die Ansprache der je-

weils vorliegenden Bodenart könnte dann unverwechselbar auf verschiedenen Ebenen je nach dem damit verfolgten Zweck oder der jeweiligen Möglichkeit erfolgen.

Es liegt auf der Hand, daß derartige Ziele langwierige und umfangreiche Vorarbeiten bei Mithilfe zahlreicher erfahrener Bodenkundler und der Verwendung eines umfassenden Analysenmaterials erfordern. Abschließend sei erwähnt, daß die Bodenkundler der Geologischen Landesämter seit einigen Jahren an dieser Frage arbeiten. Vor ein bis zwei Jahren dürfte jedoch kaum mit allseits befriedigenden Ergebnissen zu rechnen sein.

Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft Bd. 1 S. 247-251, 1963

DIE MÖGLICHKEIT, DEN KF-WERT DER BESTIMMUNG DER DRÄNSTRANGENTFERNUNG DIENSTBAR ZU MACHEN

von H. Baumann, Kiel[x)]

Es wird als eine wichtige kulturtechnische Aufgabe angesehen, die Bewährung der Dränstrangentfernung- und Tiefe an bodenkundlich genau definierten Standorten zu überprüfen. Dabei scheint es wichtiger und erfolgversprechender, zu beobachten, wie weit verschieden ausgeführte Dränungen eine Übernässung des Bodens verhindern, also ihre hydrologische Wirkung zu überprüfen, als Ertragsbestimmungen auf verschieden gedränten Flächen durchzuführen.

In der Marsch Nordfrieslands haben wir die Möglichkeit ausgenutzt, nur durch einen Vorflutgraben getrennt dränierte und undränierte Flächen zu vergleichen. Die Abb. 1 ist ein Ergebnis aus einem solchen Vergleich. Nach unseren Beobachtungen auf staunassen Böden Fehmarns (Pseudogley-Gley) ist es aber auch möglich, das Stauwasser, die vorübergehende Übernässung, in Beobachtungsrohren zu erfassen. Nach Bodenprofil und Lage zum Drän richtig aufgestellte Schreibpegel müssen die feineren Unterschiede zwischen verschiedenen Dränstrangentfernungen erkennen lassen. U. Baeker berichtet 1961 in "Wasser und Boden" von ähnlichen Vergleichen in der Praxis. Die Zusammenarbeit mit Wasserwirtschafts- und Kulturämtern oder großen Wasser- und Bodenverbänden wird den Bodenkundlern zum Zwecke derartiger Beobachtungen empfohlen. Die genaue Ansprache und Beschreibung des Bodens ist für die Übertragbarkeit der Beobachtungsergebnisse auf andere Gebiete von entscheidender Wichtigkeit.

In Zusammenhang mit den Bemühungen auch die laboratoriumsmäßig bestimmten kf-Werte der Bemessung der Dränstrangentfernung und Tiefe dienstbar zu machen, haben wir uns mit sehr dankenswertem Erfolg an eine Reihe von Bo-

x) Kurzfassung des Referates am 4.9.63 in Würzburg

denkundlern gewandt, uns ihr Material für einen umfangreichen Vergleich zwischen Tongehalt und kf-Werten zur Verfügung zu stellen. Es ergeben sich bei Verarbeitung von 348 Texturbestimmungen und einer entsprechenden größeren Anzahl von kf-Bestimmungen quadratische Beziehungen zwischen dem Tongehalt und der Durchlässigkeit. Die Funktion hat die Form einer schwachgekrümmten Parabel. $y = 0,0397\ x^2 - 1,254\ x + 9,314$; $r = -0,515^{**}$. Die uns zur Verfügung stehenden Böden mit mehr als 15 % Ton zeigen keine linearen Beziehungen zwischen beiden Größen, während bei den Proben geringeren Tongehalts eine gut gesicherte lineare Funktion ($y = -1,343\ x + 9,191$; $r = -0,418^{**}$) ermittelt wurde. Die linearen Einzelregressionen, die sich aus dem Material der einzelnen Autoren ergaben sind mit einer Ausnahme gesichert (Abb. 2). Die aus den Mittelwerten von 5 Bodentypen ermittelte Regression ist hochsignifikant ($y = -0,316\ x + 51,549$; $r = -0,990^{***}$). Die bisherige statistische Auswertung weist also eine funktionelle Abhängigkeit der Durchlässigkeit vom Tongehalt nach. Dabei muß berücksichtigt werden, daß alle benutzten Texturbestimmungen an Material vorgenommen wurden, das gemäß den Vereinbarungen der Landesämter mit Natriumpyrophosphat vorbehandelt war. Ein unmittelbarer Vergleich mit den Bezugslinien zwischen Textur und Dränstrangentfernung, wie sie die Dränanweisung enthält, ist also nicht möglich. Bei zukünftigen Vergleichen werden wir mit Wasser und mit Natriumpyrophosphat peptisiertes Material getrennt in Beziehung zu den kf-Werten setzen müssen. Trotzdem scheint hiernach der Weg gangbar, daß man Generalregressionen der Beziehungen zwischen dem Tongehalt und den kf-Ziffern bildet und im Einzelfall aus dem Abstand der kf-Ziffer von solchen Generalregressionen ein Maß für eventuelle Zu- oder Abschläge zur Dränstrangentfernung und -tiefe ableitet. So gut sich die Bestimmung der Durchlässigkeit als zahlenmäßige Sicherung der im Profil gegebenen Erscheinung bewährt, so problematisch erscheint es, den kf-Wert allein als bodenphysikalischen Maßstab für die Bestimmung der Dränstrangentfernung zu benutzen.

Die Probleme liegen:

1. in den technischen Schwierigkeiten der Entnahme einer ausreichenden Anzahl von Proben, die z.B. zur Bestimmung des Dränbedarfs unter Umständen recht hoch sein muß.
2. In der statistischen Verarbeitung der fast immer stark streuenden Werte.
3. In der gegenüber den Texturwerten unbefriedigenden Reproduzierbarkeit der kf-Werte.

Im Übrigen meine ich, daß wir die in der Dränanweisung niedergelegten Erfahrungen nicht ohne erneute Prüfung der Zusammenhänge über Bord werfen sollten. Es wäre z.B. schon sehr interessant eine Zusammenstellung darüber zu erarbeiten, wie die Dränstrangentfernungen und -tiefen auf all den gedränten Standorten liegen, die von den Landesämtern kartiert werden.

Abb. 1

MOMSEN – MARIENHOF Wiedingharder-alter-Koog

höchste und niedrigste Grundwasserstände in Marschengrünland

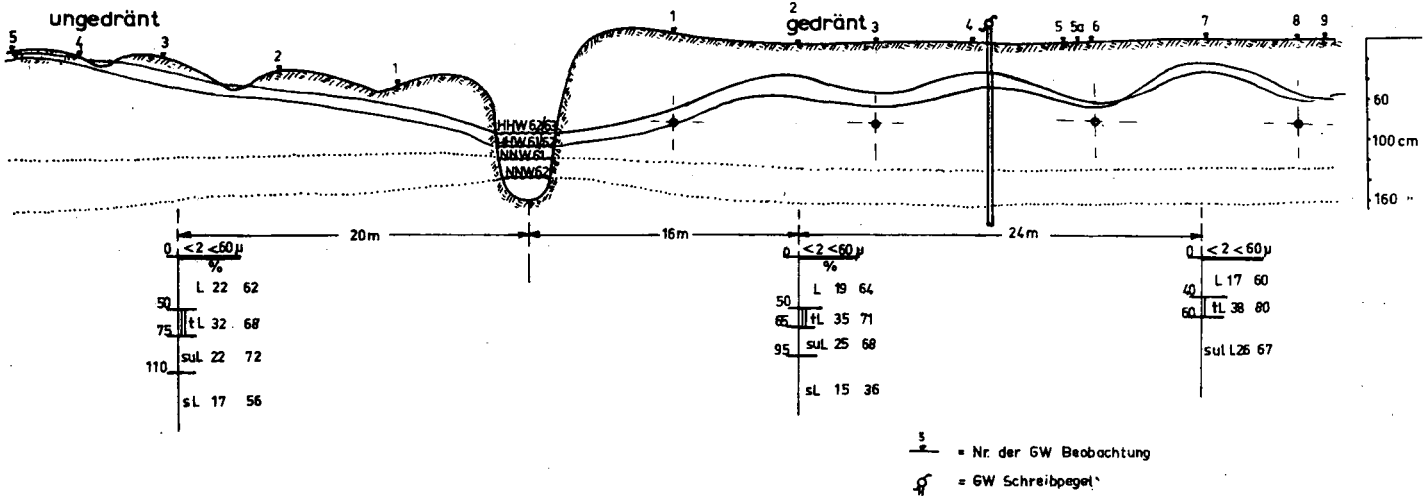
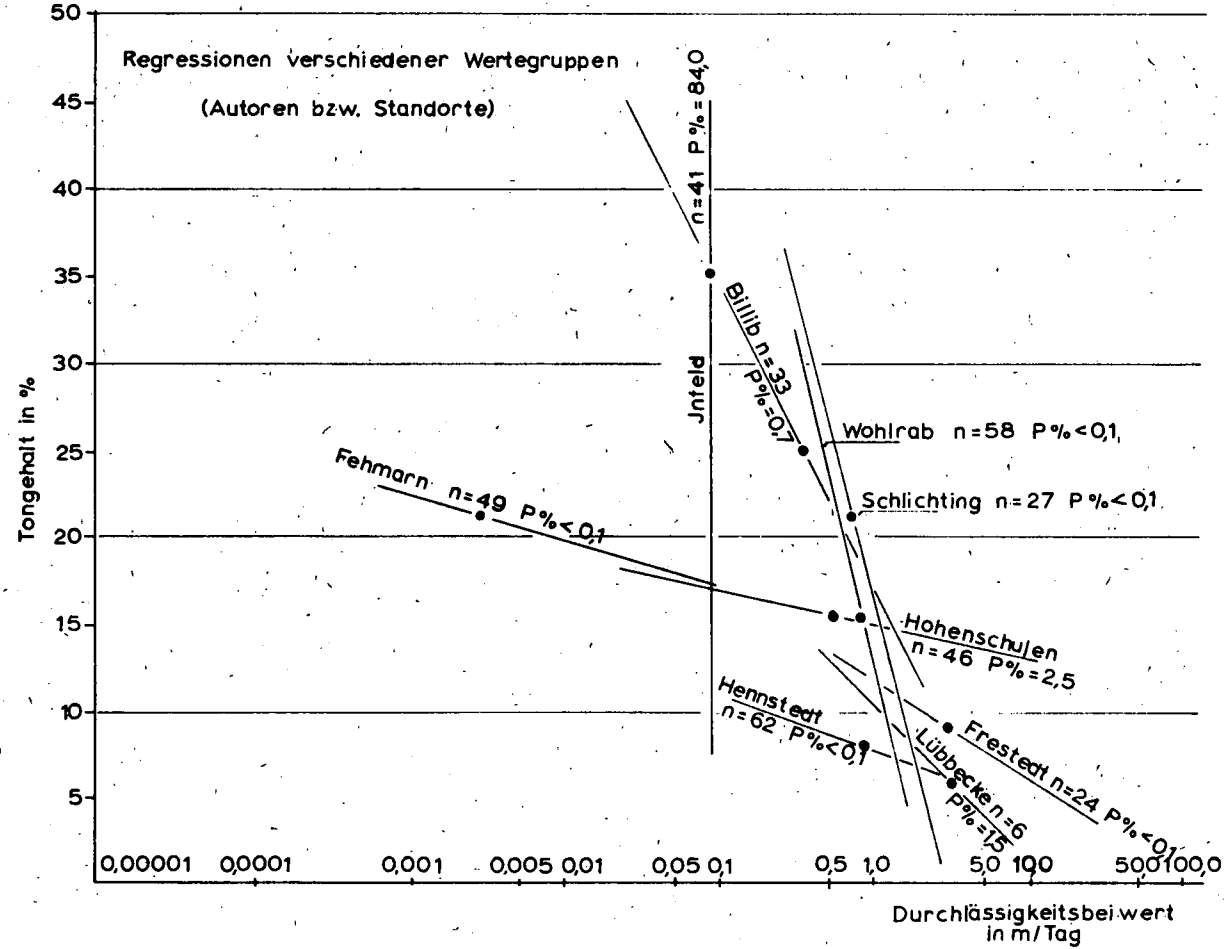


Abb. 2


Regressionen verschiedener Wertegruppen
(Autoren bzw. Standorte)
Tongehalt in %
50
45
40
35
30
25
20
15
10
5
n=41 P%=84,0
Jnfeld
Billib n=33 P%=0,7
Wohlrab n=58 P%<0,1
Schlichting n=27 P%<0,1
Fehmarn n=49 P%<0,1
Hohenschulen n=46 P%=2,5
Hennstedt n=62 P%<0,1
Lübbecke n=6 P%=1,5
Frestedt n=24 P%<0,1
0,00001
0,0001
0,001
0,005
0,01
0,05
0,1
0,5
1,0
5,0
10,0
50
100,0
Durchlässigkeitsbeiwert in m/Tag

Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft Bd. 1 S.253-266, 1963

GEFÜGEABSTUFUNGEN UND IHRE BEZIEHUNG ZUR DURCHLÄSSIGKEIT

Paul Benecke +)

Einleitung

Wenn Gefügeabstufungen - wobei hier das Makrogefüge gemeint ist - und ihre Beziehungen zur Durchlässigkeit betrachtet werden sollen, so interessiert das Gefüge längs des ganzen Weges, den das Sickerwasser in dem jeweiligen Profil nimmt. Das sonst meist im Vordergrund stehende Gefüge des A-Horizontes tritt hier in den Hintergrund, da von ihm in der Regel keine nachhaltige Behinderung der Versickerung zu erwarten ist.

Wenn darüber hinaus hier schwere Böden zur Sprache kommen sollen, richtet sich das Interesse vornehmlich auf die unter dem Sammelbegriff " Absonderungsgefüge" zusammengefaßten Gefügeformen, die im Wechselspiel von Quellung und Schrumpfung der Kolloide dieser Böden entstanden sind.

Aber selbst nach dieser Einengung des Themas "Gefüge" bleibt noch eine große Mannigfaltigkeit von Merkmalen übrig, die zur Kennzeichnung der verbleibenden Gefügeformen herangezogen werden können, und keinem Anfänger bleibt wohl die Erfahrung erspart, daß er dieser Mannigfaltigkeit im Grunde zunächst einigermaßen ratlos gegenübersteht. In dieser Situation wird er mehr denn je bereit sein, sich die Erfahrungen anderer zunutze zu machen, die er u.a. namentlich in den Arbeiten von MÜKKENHAUSEN antrifft.

Mit ihnen ist er in der Lage, zunächst hinsichtlich der Form, Größe und Anordnung der Gefügeelemente System in die Dinge zu bringen. Dabei bereitet es nur anfänglich Schwierigkeiten, die im Vergleich zu den be-

+) Dr. P. Benecke, Nieders. Landesamt f. Bodenforschung, Hannover, Wiesenstraße 1.

schriebenen und abgebildeten in der Natur häufig nur "unvollkommen" realisierten Gefügetypen richtig anzusprechen. Auch die mannigfaltigen Zwischen- und Übergangsformen sowie Störungen vermögen nur zunächst, den Bauplan mehr oder minder unkenntlich zu machen. Im Protokoll verdient beides festgehalten zu werden, sowohl das Typische wie auch das Abweichende.

Im Gefügebauplan schwerer Böden dominieren prismatische und polyedrische sowie subpolyedrische Aggregate. Daneben sind häufig plattige Formen anzutreffen. Man findet weiter das ungegliederte Kohärentgefüge. Sehr große Aggregate mit Merkmalen des Säulengefüge sind nicht selten; sie stellen in sich meist ungegliederte Aggregate dar, deren Vertikalachse länger ist als die beiden etwa gleich langen Horizontalachsen. Ihre Vertikalflächen sind bogig abgerundet und bisweilen kann man die Tendenz zur Kappenrundung erkennen. Schließlich treten noch weniger bekannte Gefügeformen auf, beispielsweise in Knickböden rhomboedrische, sehr große Aggregate, die auch bei JONGERIUS beschrieben sind, oder quader- bis wandförmige Riesenaggregate in Löß.

Für die Größe der Aggregate werden in der Literatur Klassenspielräume angegeben, die bei den verschiedenen Autoren gut übereinstimmen. Hier läßt sich als allgemeine Faustregel formulieren, daß die physikalischen Wachstumsfaktoren i.a. um so ungünstiger sind, je größere Gefügeelemente angetroffen werden. Zu beachten ist hierbei, daß grobe Gefügeelemente sich häufig aus kleineren zusammensetzen, die sich wiederum in noch kleinere zerlegen lassen usf.

Als weitere allgemeine Regel in diesem Zusammenhang gilt, daß die physikalischen Bedingungen um so günstiger sind, je besser die Gefügeformen ausgebildet sind; je mehr sie sich also dem Idealtyp annähern. Hierauf werde ich gleich noch zurückkommen.

Eine große Variabilität besteht nicht nur hinsichtlich Größe, Aufteilbarkeit, Ausprägung und Einheitlichkeit der angeführten Gefügeformen, sondern auch in bezug auf Kohärenz, Dichte bzw. Porosität, gröbere Hohlräume und schließlich noch im Hinblick auf Überkleidung, feinere Form und Stabilität der Bodenaggregate.

Ich darf die mir am wichtigsten erscheinenden Merkmale in aller Kürze streifen:

Die Feinheit des Geklüftes bindiger

Böden sagt etwas aus über Zahl und Menge der Absonderungsflächen, die wir wohl in erster Linie als Wasserleiter solcher Böden ansehen müssen. Der Grad der Kohärenz der Aggregate miteinander erlaubt dazu Rückschlüsse auf die "Passierbarkeit" des Geklüftes. Dieses Merkmal ist demnach für die Beurteilung der Durchlässigkeit besonders wichtig. Seine Schätzung - bei der sorgsam auf vergleichbare Bodenfeuchte zu achten ist - kann unter den in Tabelle 1 aufgeführten Gesichtspunkten vorgenommen werden:

Tabelle 1

Schätzung des Zusammenhaltes von Bodenaggregaten

Zusammenhalt	Abkz.	Wahrnehmungen
sehr lose	$\overline{lo}$	die Probe zerfällt unter dem Druck ihres Eigengewichtes;
lose	lo	leichter Druck oder eine geringe Erschütterung verursachen ein Auseinanderfallen der Probe in Aggregate oder Einzelkörner;
schwach lose	lo'	leichte bis mäßige Kraftanwendung führt zur Trennung der Bodenbestandteile. Handelt es sich um Aggregate, so bleiben diese unverändert;
schwach fest	fe'	mäßige Kraftanwendung überwindet die Kohärenz. Vereinzelt entstehen Abrißstellen. Verformungen lassen sich noch vermeiden.
fest	fe	mäßige bis starke Kraftanwendung ist erforderlich, um den Zusammenhalt zu überwinden. Abrißstellen treten zahlreicher auf. Leichte Verformungen sind nicht mehr zu vermeiden;
sehr fest	$\overline{fe}$	erst bei starker bis sehr starker Kraftanwendung läßt sich die Probe aufteilen. Meist treten zahlreiche Abrißstellen und stärkere Verformungen auf
		Nähere Kennzeichnung (soweit möglich)
zäh	zh	bei "teigigem" Widerstand mit zahlreichen Abrißstellen und stärkeren Verformungen;
spröde	sp	bei plötzlichem, ruckartigem Nachgeben der Probe

Die Skala reicht von "sehr lose" bis "sehr fest". Geschätzt wird nach der für die Trennung der Aggregate erforderlichen Kraft, die hier näher umschrieben wird.

Die Kohärenz spielt natürlich auch in ungegliederten Böden eine Rolle; sie kommt ja schon in der Gefügebezeichnung zum Ausdruck. Für die Beurteilung der - ich möchte sagen "Durchdringbarkeit" der ungegliederten Bodenmasse empfiehlt es sich jedoch, zusätzlich die Merkmale "Dichte" oder "Kompaktheit" sowie Porosität anzugeben, wobei hier unter "Poren"solche gemeint sind, deren Durchmesser 1000 /u unterschreitet. Diese Merkmale sind sinngemäß auch auf gegliederte Böden anzuwenden, deren kleinste Aggregate in sich ja auch ungegliedert sind.

Bei der Gefügeansprache fallen die gröberen Gänge oder Röhren besonders ins Auge, die den Boden in wechselnder, häufig beträchtlicher Länge durchziehen. Für ihre Abstufung empfehlen sich Vergleichstafeln (Abb. 1)

Abb. 1 Vergleichstafeln zur Ansprache der Menge und Größe von Poren und Röhren

Neben Anzahl und Größe dieser Hohlräume sollte ihre Orientierung, Kontinuität, Länge und evtl. Auskleidung vermerkt werden. Gegen die Ansicht, daß solche Gänge und Röhren maßgeblich die vertikale Durchlässigkeit beeinflußten, gibt es eine Reihe von Einwendungen, so daß man in jedem Fall auf Merkmale achten sollte, die für oder gegen eine solche Funktion sprechen.

Ich möchte die Erörterung der Gefügemerkmale hier abbrechen. Aus dem Gesagten geht bereits hervor, daß zur Kennzeichnung eines Gefüges eine ganze Reihe m.o.w. unabhängig voneinander auftretende Merkmale verfügbar sind. Von den zahlreichen Kombinationsmöglichkeiten, die sich demzufolge ergeben, sollen jetzt einige im Zusammenhang mit den jeweils anhand von Stechringproben ermittelten Durchlässigkeitswerten zur Sprache kommen.

Abb. 2 Durchlässigkeit und Bodentyp bei Marschböden

Die erste Abbildung zeigt die generelle Abhängigkeit der Durchlässigkeit von Bodentyp bei Marschböden. Das typologische Gliederungsprinzip, das sogenannte Ca/Mg-Verhältnis, ist auf der Abzisse abgetragen. Die Ordinate weist die Durchlässigkeitsbeiwerte in cm/d aus. Die steilere Kurve stellt die vertikale, die flachere die horizontale Durchlässigkeit dar, so daß die Abbildung gleichzeitig das Ausmaß der Durchlässigkeitsansisotropie dieser Böden veranschaulicht.

Für Marschböden gilt nun allgemein, daß mit steigendem Ca/Mg-Verhältnis die Gliederung und Lockerheit des Gefüges zunimmt, so daß die Abzisse gleichzeitig eine Gefügeabstufung darstellt. Dieser entspricht trotz gedrängter Ordinate ein steiler Kurvenanstieg, womit eine ausgeprägte Abhängigkeit der Durchlässigkeit von den Gefügeabstufungen zum Ausdruck kommt.

Die Zunahme der Anisotropie entspricht der überwiegenden Vertikalorientierung der Gefügeelemente und Hohlräume dieser Böden, in denen das Prismengefüge gleichsam als Grundtyp anzusehen ist, der freilich in Ausprägung, Größe, Aufteilbarkeit, Zusammenhalt, Porosität usw. in weiten Grenzen variieren kann.

Was hier als ganz allgemeiner Zusammenhang für Marschböden gilt, läßt sich auch an Einzelprofilen zeigen.

Abb. 3 Durchlässigkeit und Gefüge

Die Abbildung 3a zeigt Daten einer kalkreichen, sehr tonigen (50-60 %) ausgeprägten Seemarsch vom Westrand des Jadebusens. Die logarithmisch geteilte Abzisse gibt die Durchlässigkeitswerte - und -klassen an.

Die Ordinate gibt die Horizonteinteilung sowie die Lage der Horizonte unter Gelände wieder; daneben ist die Bodenart aufgeführt.

Die punktierten Markierungen stellen die horizontale, die ausgezogenen die vertikale Durchlässigkeit dar; man erkennt die Anisotropie hier wieder Rechts stehen die Gefügesymbole.

Die prismatischen Elemente des AG lassen sich in feinprismatische und diese weiter in gut ausgeprägte Polyeder zerlegen. Zur Zeit der Probenahme

war dieser Horizont zu trocken, so daß eine Nachquellung des tonreichen Materials bei der Durchlässigkeitsbestimmung erfolgt ist. Die Werte sind demnach nicht einwandfrei. Interessant ist, daß trotz der Quellung die Durchlässigkeit offensichtlich nicht stark zurückgegangen ist.

Der G1 und G2 weisen nur kleine Unterschiede auf:

Das Gefüge wird gröber, ist jedoch etwas besser ausgeprägt, besonders die Polyeder (Überstreichung). Ein scharfer Übergang erfolgt zum G3: Grobe Prismen lassen sich nur noch manchmal in wenig ausgeprägte (Häkchen) mittelgroße Prismen zerlegen, die nicht weiter gegliedert sind, sondern allenfalls Bröckel ergeben. Wegen der an Größe und Zahl zunehmenden Röhren nimmt die vertikale Durchlässigkeit trotzdem zu, während die deutliche Abnahme der horizontalen Durchlässigkeit die Gefügeverschlechterung widerspiegelt.

Der G4 schließlich unterscheidet sich vom G3 durch geringere Lagerungsdichte und geringeren Tongehalt (30 %).

Die Symbole fe (= fest) und lo (=lose) bezeichnen den Zusammenhalt der Aggregate. Weiter bedeutet: po = porös; Ro = Röhren; vorgesetztes g = grob, f = fein, m = mittel; ko = kohärent; Überstreichungen verstärken, Häkchen schwächen ab; < = zunehmend; > = abnehmend.

Abb. 3 b zeigt eine Knick-Brackmarsch aus dem Kreis Leer/Ostfriesland. Sie weist einen annähernd gleich hohen Tongehalt auf wie die vorhergehende ausgeprägte Seemarsch; ihre Durchlässigkeitswerte liegen jedoch bei den vertikalen um gut 2, bei den horizontalen um 1 Zehnerpotenz niedriger. Dies zeigt auch hier die Abnahme der Anisotropie mit abnehmender Durchlässigkeit, die beim Vergleich der Einzelhorizonte dieses stark gegliederten Profils gleichfalls zu verfolgen ist, wenn man vom S zum $S_u 1$, von diesem zum $S_u 3$ und schließlich zum $S_u 4$ fortschreitet. In gleicher Richtung nimmt auch das Ca/Mg-Verhältnis ab. Die gute Ausprägung der groben Prismen des S-Horizontes sowie die Röhren verursachen eine vergleichsweise hohe Vertikaldurchlässigkeit. Nach-unten trifft man ein grob gegliedertes hohlraumarmes Gefüge mit festem bis sehr festem Zusammenhalt der Aggregate an: Durchlässigkeit und Ansiotropie sind gering. Im an sich äußerst undurchlässigen S/Hn macht sich der Einfluß

des liegenden Hn bemerkbar, dessen letzte Vegetation (vor der Überschlickung) zahlreiche feine Gänge hinterlassen hat.

Auch das folgende Profil (Abb. 3 c) weist einen gleichhohen Tongehalt (von ~ 60 %) auf. Es handelt sich um einen Pseudogley aus Lias-Ton östlich Hannovers, in dem die Gefüge- und Durchlässigkeitsabstufungen aus beiden bisher gezeigten Profilen auftreten. Wir sehen in den oberen Horizonten ein feingegliedertes, lockeres, hohlraumführendes Gefüge mit hoher Durchlässigkeit und hoher Anisotropie. In diesem Profil war eine besonders stetige, gut abgestufte Gefügevergröberung mit zunehmender Tiefe zu beobachten, die sich in sehr guter Entsprechung in den Durchlässigkeitsdaten wiederspiegelt. Diese Stetigkeit gilt - was bisher nicht der Fall war - auch für den untersten Horizont, so daß sich hier vertikale und horizontale Durchlässigkeit gleichsinnig verringern.

Das letzte Profil (Abb. 3 d) gehört nicht zu den tonreichen, sondern stellt eine tonig-schluffige Pseudogley-Parabraunerde dar. Im A_l tritt eine bisher nicht erwähnte Gefügeform auf: ein plattiges, gut ausgeprägtes Gefüge. Entsprechend der Orientierung der Gefügegrenzflächen verhalten sich die Durchlässigkeitswerte: umgekehrt wie sonst überwiegt die horizontale die vertikale Durchlässigkeit beträchtlich. Vom SB_t2 an wird das bisher für tonreiche Böden Gesagte an diesem Schluffprofil besonders anschaulich wiederholt. Den sehr gut ausgeprägten, nur sehr locker zusammenhaltenden Prismen und Polyedern des SB_t2 folgt der bröcklig-kohärente SB_v1, der schließlich von dem ausgesprochen kohärenten, sehr kompakten, porenarmen bis porenfreien SB_v2 unterlagert wird. Dieser die Extreme einschließende Gefügeabstufung entspricht eine ebenfalls die Extreme einschließende Abstufung der Durchlässigkeit und der Anisotropie.

Literaturverzeichnis

Baver, L.D.: Soil Physies, 3rd Ed., 1956, J. Wiley Ss, Inc. New York, Chapmann u. Hall, London

DIN 4220 Bl.1, März 1963, Beuth-Vertrieb, Bln. u. Köln

Frei, E.: Genesis of various types of soil structure, 4th Int.Congr. Soil Sc.Transact. I, 46-48, 1950

Johnson, W.M., Mc Clelland, J.E., Mc Caleb, S.B., Ulrich, R., Harper, W.G., and Hotchings, T.B., Classification and Description of Soil Pores, Soil Sc. 89, 6, 319-322, 1960

Jongerius, A.: Morfologische Onderzoekingen over de Bodemstructuur, Bodenkundige Studies Nr. 2

Low, A.J.: The study of soil structure in the field and in the laboratory, J. Soil Science, 5, 1, 57-74, 1954

Mückenhausen, E.: Die Beurteilung des Bodengefüges bei der forstlichen Standortsaufnahme, in: Landwirtschaft-Angewandte Wissenschaft (AID), Landw.-Verl., Hiltrup b. Münster / Westf. 1958

Mückenhausen, E.: Form, Entstehung und Funktion des Bodengefüges, Zeitschr.f.Kulturtechnik 4, 102-114, 1963

Abb. 1

Vergleichstafeln zur Ansprache der Menge und Größe von Poren und Röhren

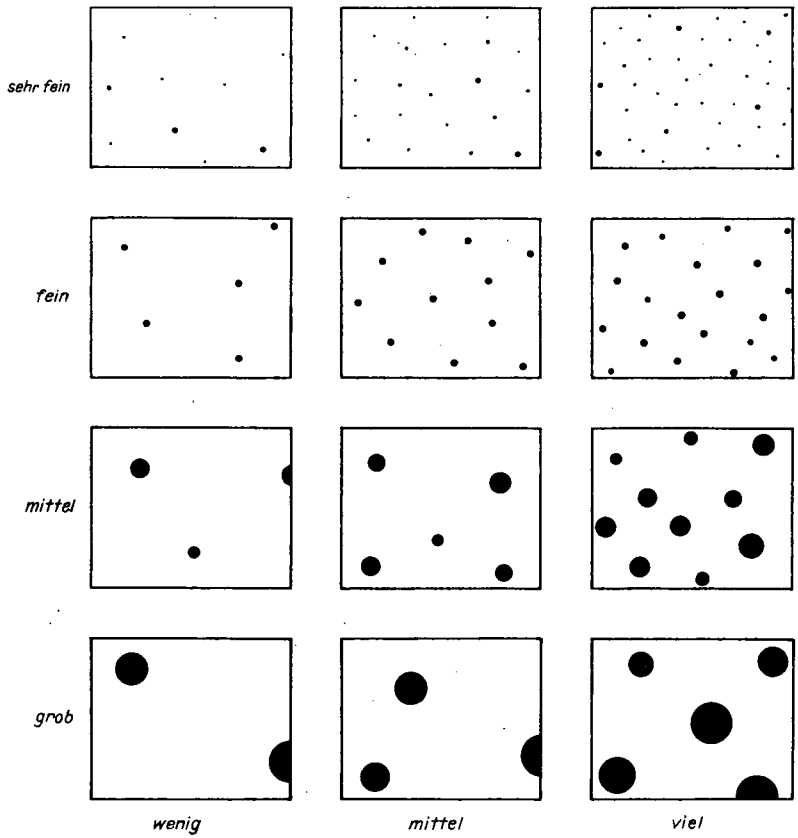
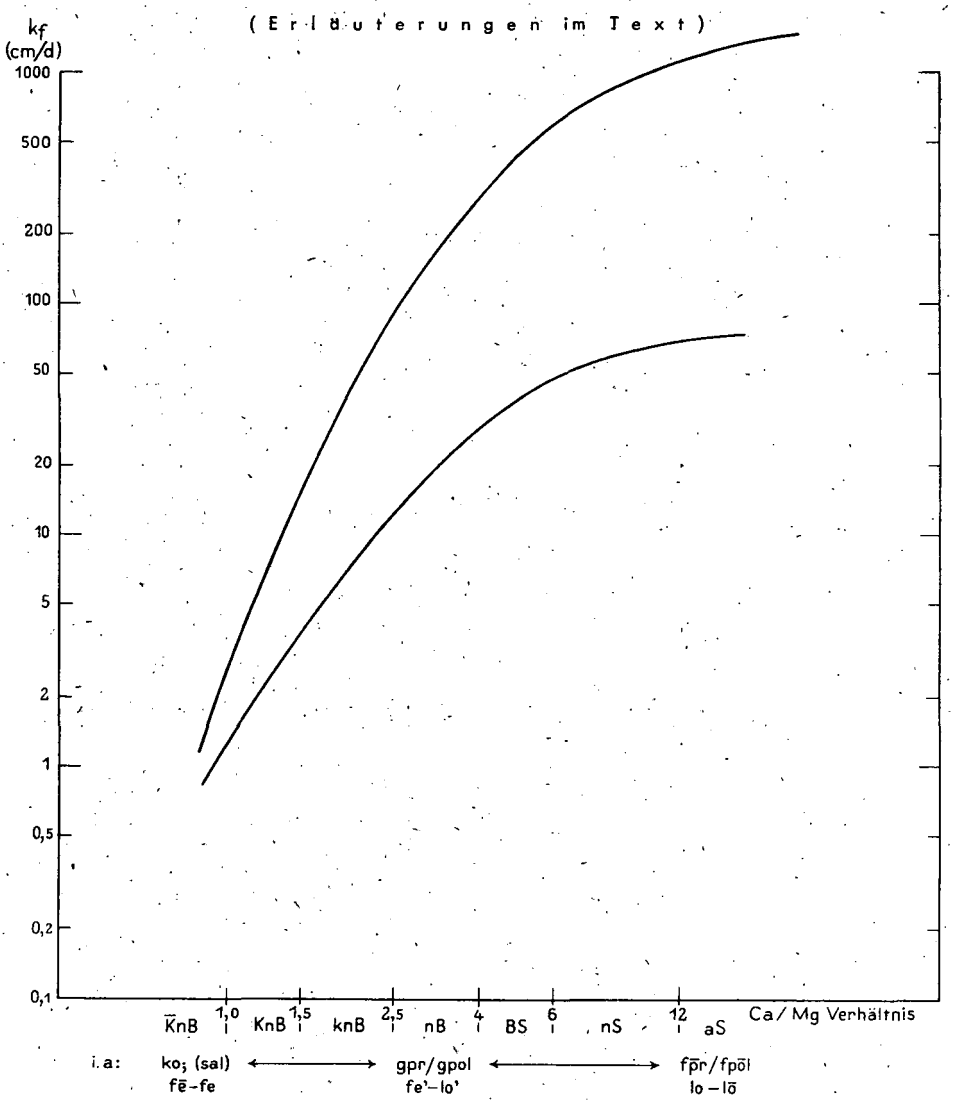


Abb. 2

Durchlässigkeit und Bodentyp bei Marschböden

(E r l ä u t e r u n g e n i m T e x t)



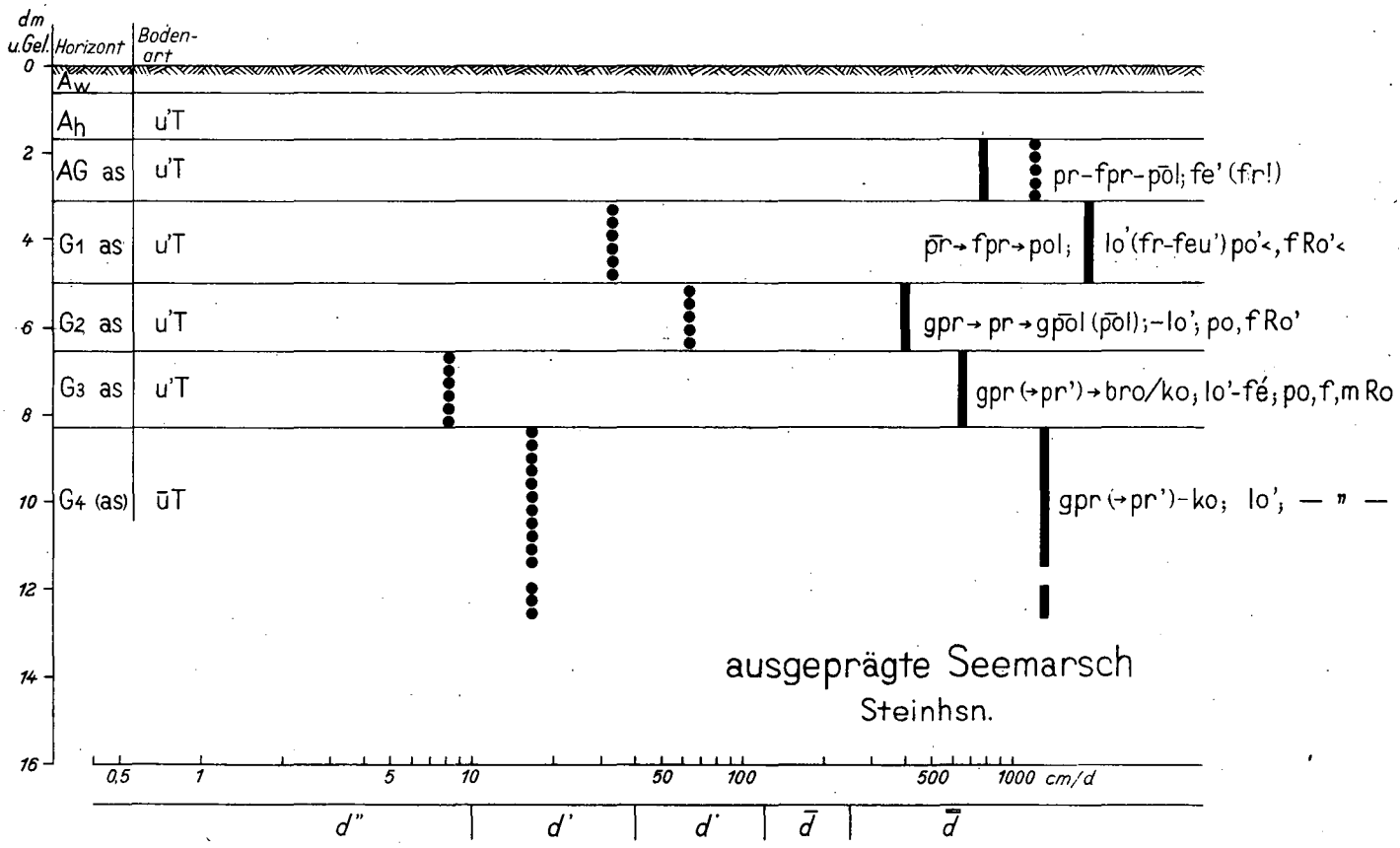

dm u.Gel.
Horizont
Boden-art
0
2
4
6
8
10
12
14
16
Aw
Ah
u'T
AG as
u'T
G1 as
u'T
G2 as
u'T
G3 as
u'T
G4 (as)
ūT
pr-fpr-pōl; fe' (fr!)
pr→fpr→pol;
lo'(fr-feu') po'<, f Ro'<
gpr→pr→gpōl (pōl); -lo'; po, f Ro'
gpr (→pr') → bro/ko, lo'-fé; po, f, m Ro
gpr (→pr')-ko; lo'; — " —
ausgeprägte Seemarsch
Steinhsn.
0,5
1
5
10
50
100
500
1000 cm/d
d''
d'
d'
d̄
d̄

Abb. 3 b

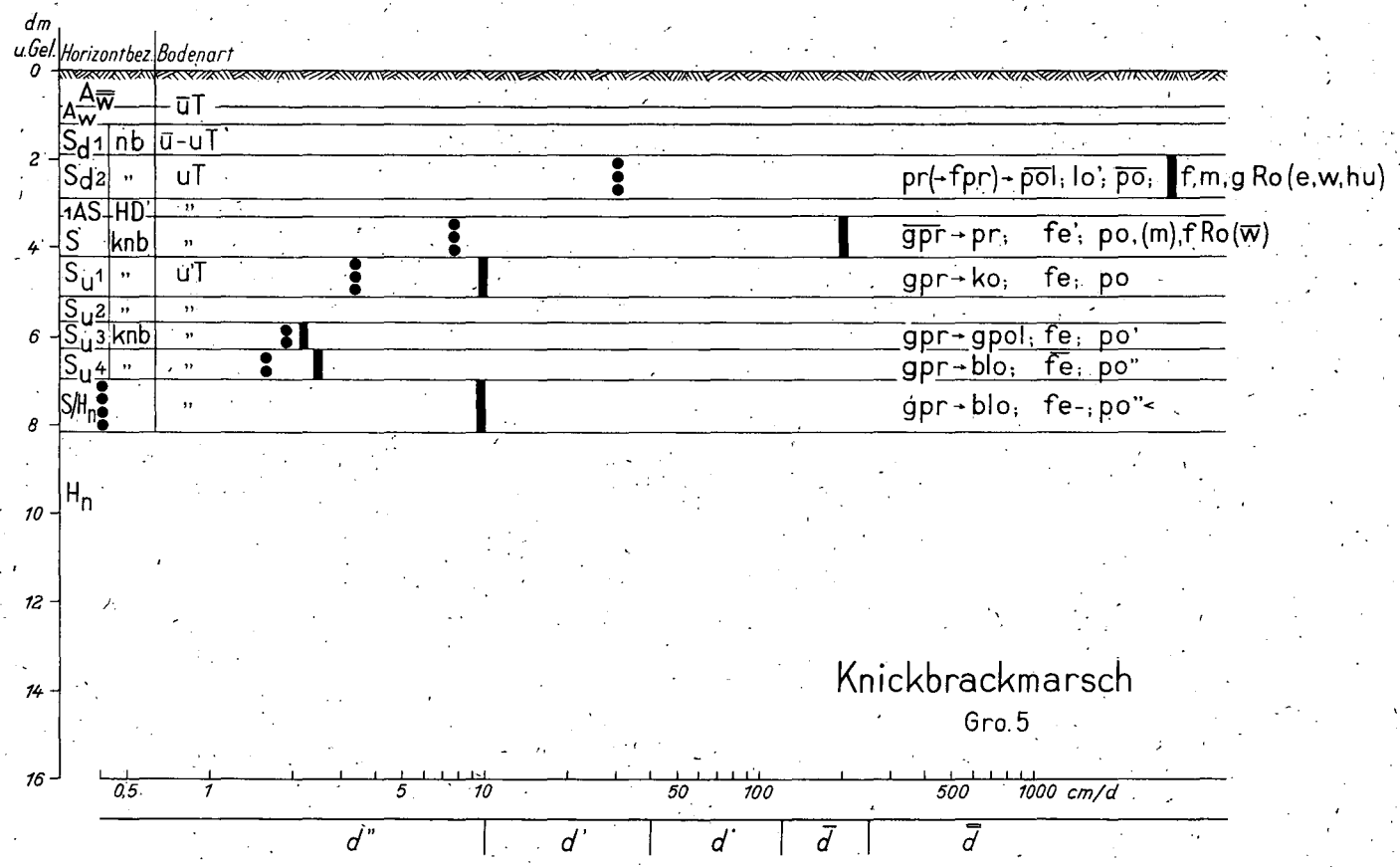

dm u.Gel.
Horizontbez.
Bodenart
0
2
4
6
8
10
12
14
16
$A_{\overline{w}}$
A_w
ūT
S_{d1} nb ū-uT
S_{d2} " uT
pr(→fpr)→ $\overline{po}$l; lo'; $\overline{po}$; f,m,g Ro (e,w,hu)
1AS HD' "
S knb "
$\overline{gpr}$→pr; fe'; po,(m),f Ro($\overline{w}$)
S_{u1} " u'T
gpr→ko; fe; po
S_{u2} " "
S_{u3} knb "
gpr→gpol; fe; po'
S_{u4} " "
gpr→blo; $\overline{fe}$; po"
S/H_n "
gpr→blo; fe-; po"<
H_n
Knickbrackmarsch
Gro. 5
0,5
1
5
10
50
100
500
1000 cm/d
d"
d'
d'
$\overline{d}$
$\overline{\overline{d}}$

Abb. 3 c

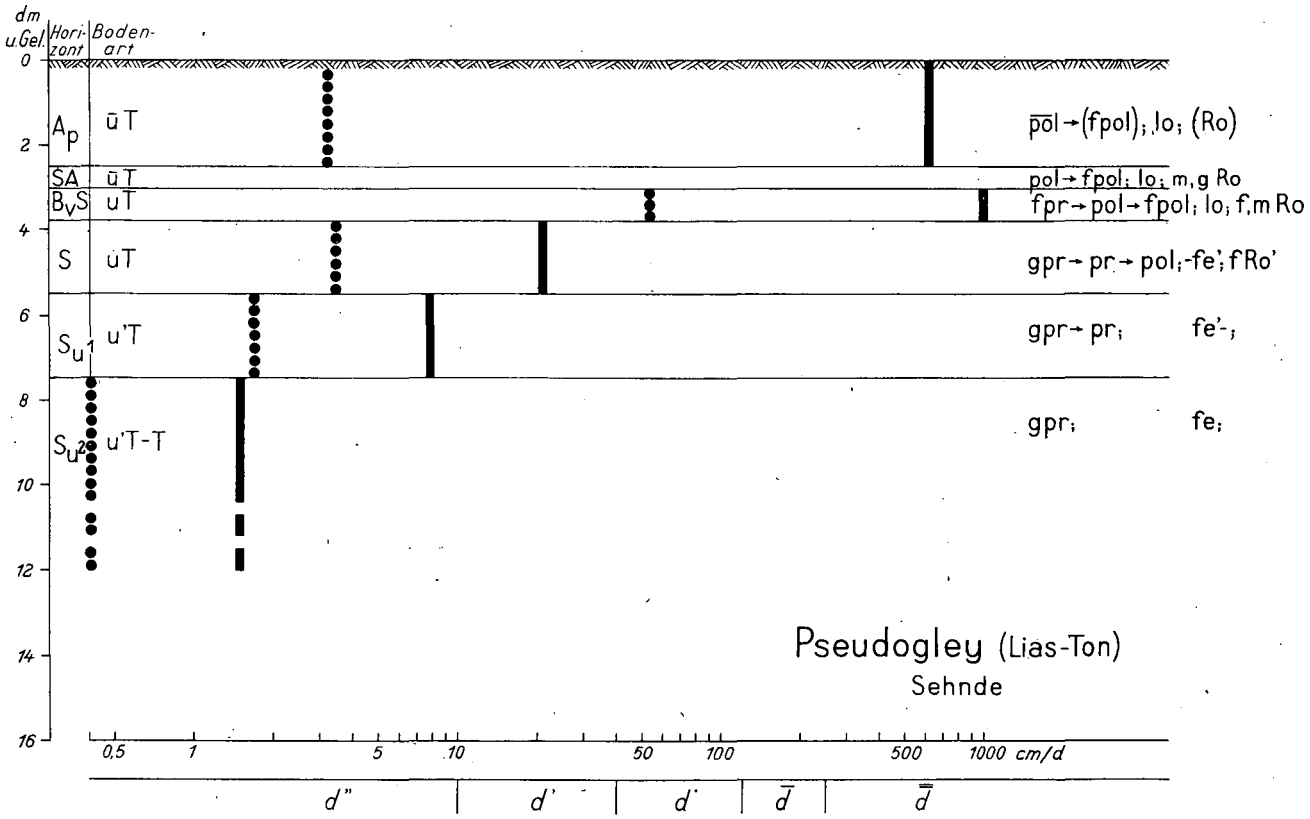
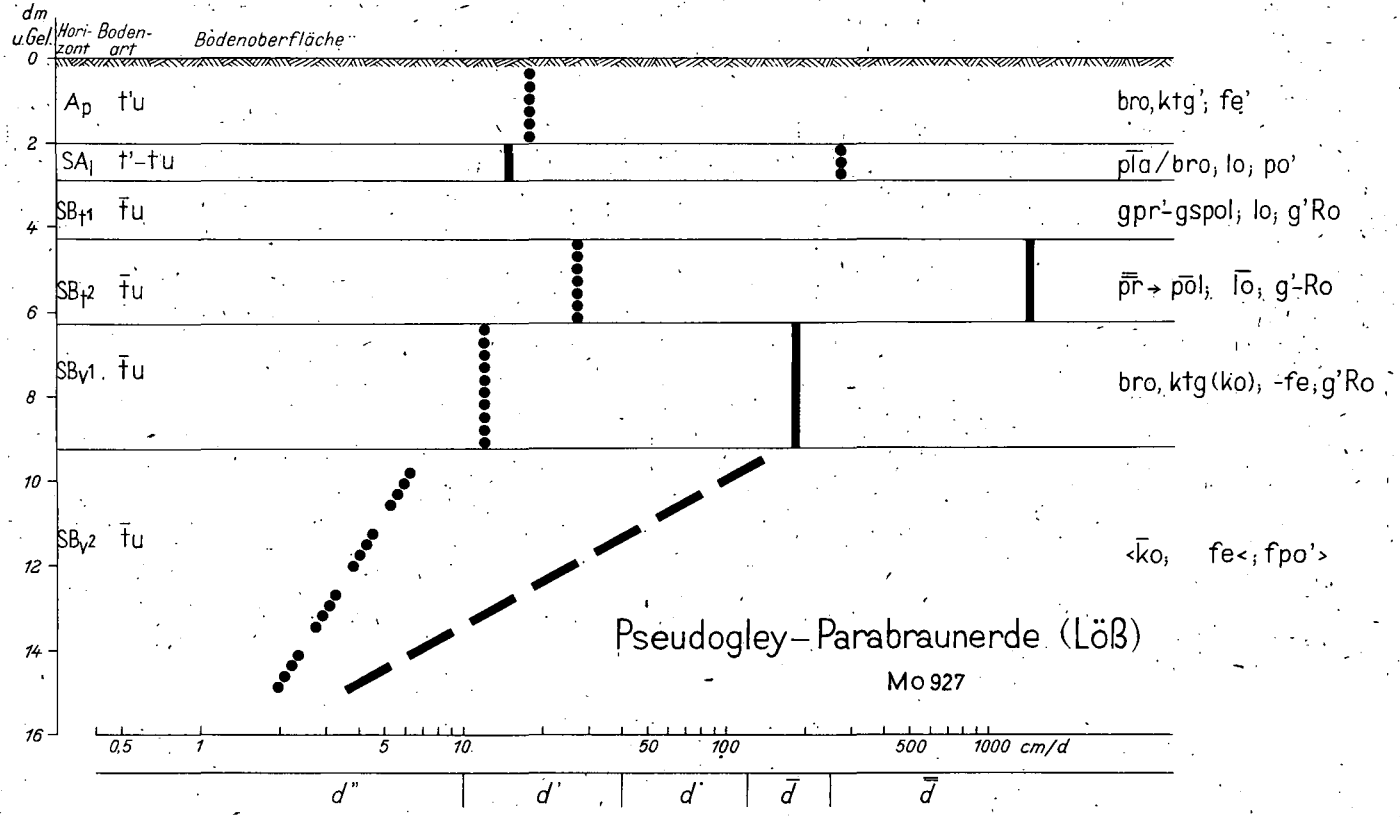

dm u.Gel.
Hori-zont
Boden-art
0
2
4
6
8
10
12
14
16
Ap
ū T
SA
ū T
BvS
ū T
S
ū T
Su1
u'T
Su2
u'T-T
p̄ol → (fpol); lo; (Ro)
pol → fpol; lo; m,g Ro
fpr → pol → fpol; lo; f,m Ro
gpr → pr → pol; -fe'; f Ro'
gpr → pr; fe'-;
gpr; fe;
Pseudogley (Lias-Ton)
Sehnde
0,5
1
5
10
50
100
500
1000 cm/d
d"
d'
d
d̄
d̿

Abb. 3 d


dm u.Gel.
Hori-zont
Boden-art
Bodenoberfläche
0
2
4
6
8
10
12
14
16
Ap t'u
SA1 t'-tu
SBt1 tu
SBt2 tu
SBv1 tu
SBv2 tu
bro, ktg'; fe'
plā/bro, lo; po'
gpr'-gspol; lo; g'Ro
p̄r̄→ pōl; lō; g'-Ro
bro, ktg(ko); -fe; g'Ro
<kō; fe<; fpo'>
Pseudogley-Parabraunerde (Löß)
Mo 927
0,5
1
5
10
50
100
500
1000 cm/d
d''
d'
d'
d̄
d̄

Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft Bd. 1 S. 267-273, 1963

DIE BEURTEILUNG DER PERMEABILITÄTSBESTIMMUNGEN AN STECHZYLINDERPROBEN

K. H. Hartge [x)]

Bei Permeabilitätsbestimmungen an Stechzylinderproben streuen Parallelen erfahrungsgemäß oft sehr stark. Wertegruppen wie in Tabelle 1 angegeben sind nicht selten.

Tab. 1: Meßwerte von 10 Parallelbestimmungen der Permeabilität (cm^2) an Stechzylinderproben aus zwei Tiefen einer Schwarzerde aus Löß

30 cm, A_h, II	115 cm, C, III
0,08 . 10^{-5}	0,0001 . 10^{-5}
0,061 . 10^{-5}	0,063 . 10^{-5}
0,0016 . 10^{-5}	0,11 . 10^{-5}
0,25 . 10^{-5}	0,11 . 10^{-5}
0,011 . 10^{-5}	0,00064 . 10^{-5}
0,14 . 10^{-5}	0,0023 . 10^{-5}
0,0058 . 10^{-5}	0,00075 . 10^{-5}
0,23 . 10^{-5}	0,13 . 10^{-5}
0,069 . 10^{-5}	0,17 . 10^{-5}
0,011 . 10^{-5}	0,0003 . 10^{-5}
	0,23 . 10^{-5}

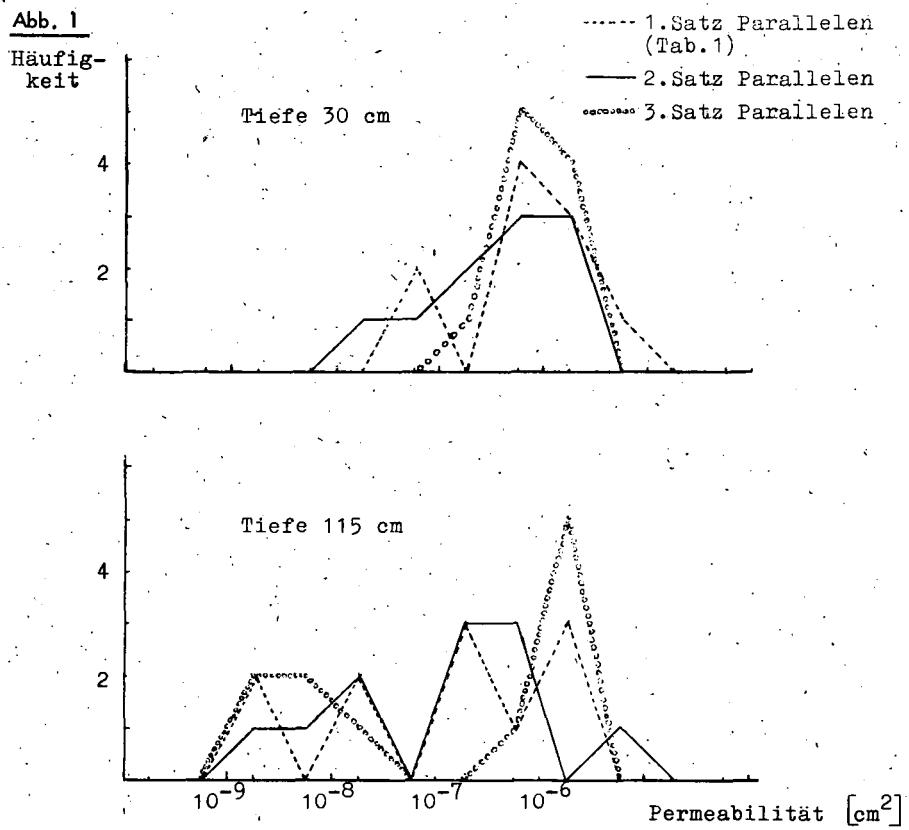
x) Institut für Bodenkunde der Technischen Hochschule Hannover. Direktor: Prof. Dr. P. Schachtschabel

Hieraus entstehen folgende Fragen:

1. Sind Durchlässigkeitsbestimmungen an Stechzylinderproben mit aufwandmäßig vertretbaren Parallelzahlen von etwa 9-12 überhaupt verwertbar?

2. Wie sind Unterschiede statistisch sicherbar ?

Abb. 1: Häufigkeitsverteilungen der Permeabilitätskoeffizienten von 3 Gruppen mit je 10 Parallelen aus einer Schwarzerde aus Löß



3. Wie müssen die Ergebnisse zusammengefaßt und ausgedrückt werden?

1. Um ein derartiges Material besser zu übersehen, ist zunächst eine graphische Auftragung als Häufigkeitsverteilung möglich, die für die beiden Wertegruppen in Abb. 1 durchgeführt ist. Dabei wurde, um die weit auseinander liegenden Werte gemeinsam darstellen zu können, für die Abszisse ein logarithmischer Maßstab gewählt und das Material so in Klassen eingeteilt, daß auf jede Potenz zwei Klassen entfallen.

   Wie die Abb. 1 zeigt, ergibt die eine Verteilung eine annähernd symmetrische, die andere dagegen keine regelmäßige Kurve. Zweimalige Wiederholung der Probenahme mit je 10 weiteren Parallelen zeigt, daß sich durch die Erhöhung der Parallelenzahl prinzipiell nichts ändert. Das bedeutet, daß die Art der Verteilung in diesen Fällen durch 10 Parallelen hinreichend genau gekennzeichnet ist.

   Bei der Untersuchung einer größeren Anzahl solcher Verteilungen aus verschiedenen Böden ließ sich das Material in drei Gruppen eingliedern:

1.1. Eingipfelige, symmetrische Verteilungen, deren Meßwerte nicht signifikant von Normalverteilungen abweichen (Exzeß und Schiefe nicht signifikant). Bei der hier gewählten Klassenbreite fallen dabei alle Meßwerte in eine oder zwei benachbarte Klassen. Verteilungen dieser Art fanden sich am häufigsten in C-Horizonten aus Sand und Löß, in A_e-Horizonten von Podsolen und in A_1-Horizonten von Parabraunerden.

1.2. Verteilungen mit zwei vollständig getrennten Gipfeln. Das linke Maximum (kleinere Werte) zeigt hinsichtlich der Form der Verteilung in vielen Fällen keine Unterschiede von der unter 1.1. genannten Gruppe.

   Das rechte Maximum war meistens weniger einheitlich. Bei Verrechnung sowohl der Meßwerte als auch ihrer Logarithmen war meist entweder die Schiefe oder der Exzeß signifikant. Die Verteilungen waren auf normal geteilter Abszisse nie, auf logarithmisch geteilter Abszisse manchmal Normalverteilungen ähnlich.

Verteilungen dieser Art fanden sich am häufigsten in g-Horizonten von Pseudogleyen sowie in den oberen, degradierten Teilen des A_h von Schwarzerden (vgl. Abb. 2, 30 - 35 cm Tiefe). Im C-Löß sind solche Verteilungen wie die in Abb. 1, 115 cm Tiefe, gezeigte selten.

1.3. Schiefe und unregelmäßige Verteilungen verschiedenster Formen, die in A_p-Horizonten und in sonstigen gestörten Schichten auftreten. Zu dieser Gruppe gehören auch eingipfelige Verteilungen, die erst durch Logarithmierung symmetrisch werden und dann breite Gipfel bilden.

Zwischen den Gruppen 1.2. und 1.3. , z.T. auch 1.2. und 1.1., finden sich alle Übergänge, beginnend mit zwei gleich großen Gipfeln über Verkleinerung des einen Gipfels bis zur eingipfeligen Verteilung mit starker Rechts- bzw. Linksschiefe, und schließlich als Endpunkt einem symmetrischen Gipfel.

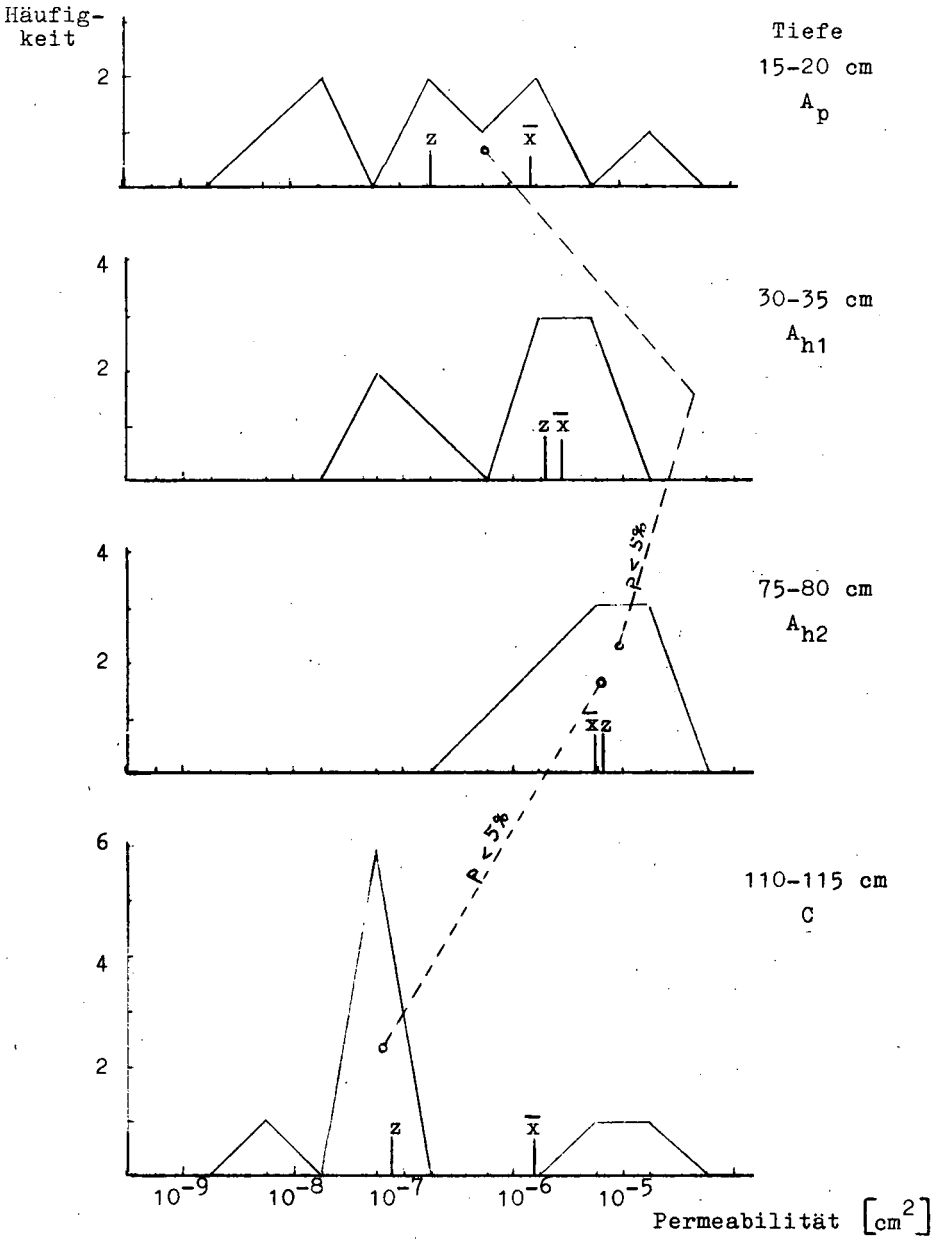
Ein Beispiel für solche Veränderungen im Profil gibt Abb. 2, aus der folgendes zu ersehen ist:

1.31. Im C-Horizont überwiegt die spitze eingipfelige Zacke des C_v-Lößes, die wahrscheinlich dem feinverteilten System der "Nadelstichporen" zuzuschreiben ist. Zwei Zylinder erfaßten noch das grobe, für den A-Horizont typische Hohlraumsystem und deuten im Bereich von 10^{-5} cm^2 die Entstehung eines neuen Gipfels an.

1.32. Im A_h-Horizont ist die Struktur in 70 cm Tiefe am reichsten an gängig und flächig ausgebildeten Hohlräumen. Die "Nadelstichporen" treten gar nicht in Erscheinung, sie werden von dem groben Hohlraumsystem in jedem Zylinder überprägt. In 35 cm Tiefe tritt die Ausprägung dieser A_h-Struktur zurück und der große Gipfel bei 10^{-5} cm^2 verkleinert sich. Daneben entsteht neu ein Gipfel, dessen Permeabilität etwa der der "Nadelstichporen" entspricht. Dieser Gipfel zeigt an, daß das grobe Hohlraumsystem nur noch in etwa 50 % der Zylinder durchgehend angetroffen wurde.

1.33. Im A_p-Horizont ist von der "A_h-Struktur" der Schwarzerde nichts mehr zu sehen. Der Horizont zeigt eine vollständig unregelmäßige Verteilung der Permeabilitätskoeffizienten. Größere durchgehende Hohlräume, die in 70 cm Tiefe die Verteilung beherrschen, sind hier selten, wie das Fehlen eines Gipfels im Bereich 10^{-6} bis 10^{-5} zeigt. Dafür liegen aber einige Werte so niedrig, daß daraus auf die teilweise Zerstörung des Systems der "Nadelstichporen" geschlossen werden muß.

Abb. 2: Häufigkeitsverteilungen der Permeabilitätskoeffizienten einer Schwarzerde in verschiedenen Bodentiefen



Das Beispiel in Abb. 1 zeigt bei 30 cm Tiefe bei 2 von den drei Parallelengruppen Linksschiefen, die analog dem linken Gipfel in Abb. 2 sind. Die hier nicht dargestellten Tiefe von 50 cm zeigt drei eingipfelige Verteilungen mit einem Maximum bei 1,8 bzw. $5,6.10^{-6}$ cm^2. Im C-Horizont des Beispieles Abb. 1 (115 cm Tiefe) liegt eine ganz andere und untypisch ausgeprägte Verteilung vor. Beide Beispiele zeigen aber, daß die sehr unterschiedlichen Schiefen der Verteilungen kennzeichnend für die Art der Hohlraumbildung in einem Horizont und hinsichtlich ihrer Form weitgehend reproduzierbar sind.

2. Da, wie im vorigen Abschnitt erwähnt, die Form der Verteilungen typisch ist, darf auch nicht erwartet werden, daß sich zwei zu vergleichende Horizonte durch dieselbe Transformation einer Normalverteilung hinreichend annähern lassen, um die Verwendung parametrischer Methoden bei der Verrechnung zu rechtfertigen. Aus diesem Grunde ist die Verwendung parameterfreier Tests vorzuziehen. Die in Abb. 2 eingetragenen Signifikanzen wurden mit dem X-Test von v. d. WAERDEN (v. d. WAERDEN, 1956) errechnet. Dieser Test beruht auf der Rangplatzreihenfolge der Werte.

3. Um eine Gruppe von Meßwerten durch eine Zahl zu charakterisieren, wird meistens das arithmetische Mittel ($\bar{x}$) verwendet. Dies ist jedoch nur zulässig, wenn die vorliegenden Verteilungen von einer Normalverteilung nicht zu sehr abweichen, und führt unter Umständen, wie in Abb. 2 im A_p- und C-Horizont dargestellt, zu irreführenden Daten. Das Mittel der logarithmisch transformierten Werte (= geometrisches Mittel) ist bei der Unregelmäßigkeit der Verteilungen auch nicht immer charakteristisch.

Aus diesen Gründen und weil die parameterfreie Verrechnung keiner Mittelwerte bedarf, ist es vorzuziehen, die Ergebnisse von Permeabilitätsbestimmungen an ungestörten Stechzylinderproben durch den Zentralwert (= Medianwert) oder den häufigsten Wert (= Dichtemittel) (WEBER, 1956) darzustellen.

Die in der Regel schlechte Übereinstimmung zwischen Ergebnissen von Messungen an Stechzylindern und an Bohrlöchern ist zu einem großen Teil durch die Verwendung von Mittelwerten verursacht, die die Verteilung der Meßwerte der Stechzylinderproben falsch wiedergeben.

Literatur:

v.d. WAERDEN, B.L., und NIEVERGELT, E.: Tafeln zum Vergleich zweier Stichproben mittels X-Test und Zeichentest. Springer, Berlin, Göttingen, Heidelberg 1956.

WEBER, E.: Grundriß der biologischen Statistik. Fischer, Jena 1956.

eingesandt am: 10.9.1963

Anschrift des Verfassers: Dr. K. H. Hartge, Hannover-Herrenhausen, Herrenhäuser Str. 2

Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft Bd. 1 S.275-284, 1963

BODENPHYSIKALISCHE KENNWERTE MIT BESONDERER BERÜCKSICHTIGUNG DER DURCHLÄSSIGKEIT

Paul Benecke [x)]

Unter den bodenphysikalischen Kennwerten nimmt der die Durchlässigkeit kennzeichnende K-Wert einen wichtigen - wenn nicht den wichtigsten - Platz ein. Seiner Bedeutung entsprrechen indessen auch die Probleme und Fragen, die sich bei seiner Ermittlung und Interpretation ergeben und die in mancherlei Hinsicht wohl noch als unzureichend geklärt oder sogar offen angesehen werden müssen. Dementsprechend lag es nahe, Fragen aus der Praxis der K-Wert-Bestimmung und -Auswertung anzuschneiden und zur Diskussion zu stellen.

Zunächst möchte ich mit wenigen Sätzen die Methode charakterisieren, die den zur Diskussion stehenden K-Werten zugrunde liegt.

Die Probenahme erfolgte in einer Schürfgrube, und zwar werden aus den ausgewählten Bodenhorizonten je 5 - 6 Stechringproben in vertikaler und horizontaler Richtung entnommen. Die Proben werden mit gebotener Behutsamkeit oben und unten abgeschnitten und luftdicht verpackt. Im Labor erfolgen: Wassergehaltsbestimmung, Wägung und Sättigung der Proben mit entlüftetem Wasser. Sie werden dann in Permeameter gebracht, wo die pro Zeiteinheit bei konstantem Gefälle durch sie hindurchtretende Wassermenge festgestellt wird. Unter Verwendung der DARCY-Gleichung wird schließlich der K-Wert der Einzelprobe errechnet.

Vergleicht man die Ergebnisse der parallel entnommenen Proben, so zeigt sich, daß die Werte beträchtlich streuen, und zwar bei den Vertikalproben

x) Nieders. Landesamt f. Bodenforschung, Hannover, Wiesenstr. 1.

in weiten Grenzen um eine Zehner-Potenz. (Bei den Horizontalproben i.a. weniger) Bei derart starker Streuung empfiehlt sich die Wahl des geometrischen Mittels, bei dem die geringen Werte weitaus stärker berücksichtigt werden als bei arithmetrischer Mittelung. Für eine geometrische Mittelwertsbildung spricht auch, daß die Verteilung der Logarithmen der Einzelwerte einer Normalverteilung näher kommen als die der Nummeri. Ohne auf diese Dinge näher einzugehen, möchte ich mich der Frage zuwenden, welche Aussage mit den in der beschriebenen Weise erhaltenen Werten gewonnen ist.

Hervorzuheben ist, daß der K-Wert die Durchlässigkeit bzw. sein Kehrwert den Durchflußwiderstand als allgemeine Bodeneigenschaft angibt; anschaulicher formuliert soll das heißen, daß der K-Wert Auskunft darüber gibt, wieviel Wasser pro Zeiteinheit durch eine 1 cm mächtige Schicht des Bodens fließt, wenn ein hydraulisches Gefälle von 1 cm vorliegt. Entsprechend dem DARCY-Gesetz verringert sich diese Wassermenge bei gegebener Durchlässigkeit proportional zur Schichtmächtigkeit, so daß für die Angabe der "tatsächlichen" Durchlässigkeit eines Bodenhorizontes neben dem K-Wert die Schichtmächtigkeit bekannt sein muß.

Um beide Angaben zu einer zu vereinigen, könnte man etwa als - ich möchte sagen - "spezifische" Durchlässigkeit eines Horizontes den Quotienten aus dem K-Wert und der Schichtmächtigkeit bilden.

Rechnerisch praktischer - und vielleicht auch anschaulicher - ist jedoch die Benutzung des Kehrwertes des K-Wertes, der ein Durchflußwiderstandsmaß darstellt. Das Maß des Widerstandes wächst linear mit der Schichtmächtigkeit und dem K-Wert. Es ist also der Kehrwert der vorhin so bezeichneten "spezifischen" Durchlässigkeit.

Der Vorzug eines Durchflußwiderstandsmaßes zeigt sich vor allem, wenn nach der mittleren Durchlässigkeit mehrerer Horizonte mit unterschiedlichen K-Werten gefragt ist. Die Widerstandsangaben lassen sich ohne weiteres addieren. Man erhält den Gesamtdurchflußwiderstand und damit einen Ausdruck für das Stauvermögen eines Profiles. Aus dem Kehrwert dieses Ausdruckes, in dem die Schichtmächtigkeiten enthalten sind, erhält man durch Division mit der Summe aller Schichtmächtigkeiten den mittleren K-Wert des Gesamtprofiles.

Wenn K_1, K_2, ..., K_n die K-Werte der Einzelschichten und 1_1, 1_2, ..., 1_n, die Mächtigkeit der Einzelschichten bedeutet,

dann beträgt der Gesamtdurchflußwiderstand oder das Stauvermögen:

$$W_g = \frac{l_1}{K_1} + \frac{l_2}{K_2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad + \frac{l_n}{K_n}$$

und der mittlere K-Wert des Profiles

$$\overline{K} = \frac{l_1 + l_2 + \ldots\ldots\ldots + l_n}{W_g}$$

Diese vielleicht etwas praxisfern anmutenden Überlegungen lassen sich durch ein Experiment veranschaulichen und bestätigen:

Abb. 1 einschl. Unterschrift

An 5 Stechringproben wurden die K-Werte ermittelt; sie sind in Abb. 1 eingetragen. Die 5 Proben wurden dann - wie aus der schematischen Wiedergabe der Versuchsanordnung (Abb. 1) ersichtlich - hintereinander geschaltet und gemeinsam einem Druckgefälle von rd. 17 cm ausgesetzt. Aus diesem Druckgefälle, der Länge aller Proben und der pro Zeiteinheit durch sie hindurchtretenden Wassermenge ergibt sich der durchschnittliche K-Wert der dargestellten Probenanordnung, die man mit 5 übereinader liegenden Horizonten unterschiedlicher Durchlässigkeit vergleichen kann.

Errechnet man zum Vergleich den durchschnittlichen K-Wert nach der vorhin angegebenen Formel, so gelangt man zum gleichen Ergebnis. Ein Ergebnis, das nicht nur den Weg der Bildung des gewogenen Mittelwertes veranschaulicht, sondern auch die Gültigkeit des DARCY-Gesetzes für solche Bestimmungen bestätigt.

Insoweit ist dieses Experiment geeignet, der in Rede stehenden Methode der K-Wert-Ermittlung das Wort zu reden.

Andererseits ist es jedoch auch geeignet, ein Problem zu veranschaulichen, das dem ermittelten K-Wert nun sogleich ein Fragezeichen anhängt. Es geht dabei um die Frage, ob sich der Absolutbetrag des K-Wertes auf den Boden übertragen läßt, oder ob er nur eine relative Aussage über die Durchlässigkeit enthält.

In Abb. 1 ist der Gang des hydraulischen Druckgefälles dargestellt. Aus der DARCY-Gleichung ergibt sich, daß für die jeweils 5 Proben des Experimentes das Produkt aus Druckgefälle und Durchlässigkeit konstant sein muß. Entsprechend weisen die Proben geringer Durchlässigkeit ein hohes Druckgefälle auf. Diese Proben nehmen im Experiment den Platz eines Staukörpers ein.

Es läßt sich jetzt feststellen, daß beispielsweise das auf die Basis der 2. Schicht bezogene hydraulische Gefälle die Oberkante um 8,1 cm übersteigt. Vergleichsweise haben wir es daher mit einem Staukörper zu tun, der in der Lage ist, die darüber liegende Stauzone mit Wasser zu erfüllen. Die übrigen Schichten hingegen stauen nur m.o.w. in sich.

Daraus ergibt sich eine Bedingung, die ein Staukörper erfüllen muß, um als solcher angesehen zu werden: Für die permanente Abfuhr einer bestimmten Wassermenge muß das erforderliche Gefälle größer sein als die Schichtmächtigkeit. Der Betrag der abzuführenden Wassermenge richtet sich nach den Klimadaten des Gebietes und ist naturgemäß nicht exakt zu fassen.

Es bleibt nur der Ausweg, diesen Betrag festzulegen, und zwar so, daß er den aus dem Klimaablauf bekannten Extremfällen genügt. Es liegt nahe, sich auf den gleichen Wert zu einigen, der auch der Dränabstandsberechnung zugrunde liegt; das sind - um eine von den Niederländern[1] benutzte Ziffer zu nennen - 7 mm/Tag.

Es fragt sich nunmehr, wie hoch kann das Wasser in einem gegebenen Profil aufstauen, dessen Durchlässigkeitsdaten bekannt sind.

Als Beispiel wähle ich eine an der Ems gelegene Knickbrackmarsch [x] mit allen Merkmalen starker Vernässung. Sie weist von 50 - 80 cm u.Gel. einen

1) aus: "Grafische berekening drainafstanden"
Ministerie van Landbow, Visserij en Voedselvoorziening

x) vgl. Abb. 3 b des Referates: "Gefügeabstufungen und über ihre Beziehung zur Durchlässigkeit"

durchschnittlichen K-Wert von 2 cm/Tag auf. Darunter folgt sehr durchlässiger Bruchwaldtorf. Die hangenden Schichten können wegen ihrer wesentlich höheren Durchlässigkeit hier unberücksichtigt bleiben.

Um eine Abfuhr von 7 mm/Tag aufrecht zu erhalten, ist laut Rechnung ein Gefälle von 11,5 cm erforderlich. Dieser Wert ist auf die Basis des Staukörpers zu beziehen. Das Profil dürfte demnach unter den angeführten Bedingungen nur bis knapp 70 cm u. Gel. vernässen, allerdings ohne Berücksichtigung des Kapillarsaumes.

Tatsächlich stellt sich der Stauwasserspiegel nach anhaltenden Niederschlägen aber auf etwa 10 cm u.Gel. ein. Rechnet man mit dieser Bedingung das Beispiel durch, so ergibt sich ein K-Wert von 0,3 cm/Tag. Dieser Wert liegt also rund um das zehnfache unter dem gemessenen.

Es sei erwähnt, daß im liegenden Bruchwaldtorf gespanntes Grundwasser auftritt, was gleichfalls darauf hinweist, daß die K-Werte der hangenden Schichten sehr niedrig sein müssen.

Dieses Beispiel steht für viele, und man wird zu der Überlegung gedrängt, was mit dem K-Wert gewonnen ist. Eine unmittelbare Übertragung auf das Profil ist offensichtlich nicht angezeigt.

Vergleiche von Profilbeobachtung und zugehörigen K-Werten berechtigen jedoch zu der Ansicht, daß der K-Wert zur Kennzeichnung der Durchlässigkeit sowie zur Zuordnung der Böden zu Durchlässigkeitsgruppen geeignet ist. Ich werde sogleich versuchen, hierfür einen Nachweis zu führen.

Zunächst bleibt die Frage, ob sich mit Hilfe des K-Wertes oder besser seines Kehrwertes eine Kennzeichnung des Stauvermögens und eine Zuordnung zu Gruppen gleichen Stauvermögens erreichen läßt. Die Schwierigkeit gegenüber der Kennzeichnung der Durchlässigkeit liegt darin, daß man hier die Lage des Staunässe-Spiegels kennen müßte, wie er sich unter den vorhin genannten Bedingungen unter Gelände einstellen würde. Hierzu ist jedoch die Kenntnis des absoluten, ohne weiteres übertragbaren K-Wertes erforderlich. Da aber ein solcher K-Wert offensichtlich nicht verfügbar ist, müßte man an die Einführung eines Korrekturfaktors denken. Dieser hätte die Aufgabe, den ermittelten K-Wert angemessen zu reduzieren. Seine Bestimmung kann wohl nur auf empirischem Weg durch korrelationsstatistische

Auswertung eines möglichst umfangreichen Untersuchungsmaterials erreicht werden. Es würde nicht überraschen, wenn er seinerseits von bestimmten Bodenmerkmalen, namentlich vom Gefüge, abhinge.

Ich möchte hier einen weiteren Zusammenhang einflechten, um die Eignung des K-Wertes noch aus anderer Sicht zu beleuchten.

Methodisch in völlig gleicher Weise wie die vertikalen werden die horizontalen K-Werte anhand von Stechringproben ermittelt; der einzige Unterschied besteht lediglich darin, daß die Proben in horizontaler statt in vertikaler Richtung entnommen werden. Vergleicht man die Werte beider Richtungen miteinander, so findet man beispielsweise bei Marschböden den durchaus gesetzmäßigen Zusammenhang, daß sich die vertikalen wie die horizontalen Werte in gleicher Weise - lediglich mit unterschiedlicher Neigung - als Funktion des Bodentypes darstellen lassen. (vgl. Abb. 2 des Referates "Gefügeabstufungen und ihre Beziehung zur Durchlässigkeit."

In methodisch völlig anderer Weise wird dagegen der horizontale K-Wert mit Hilfe der Bohrlochmethode festgestellt. Die Messung erfolgt in situ, also ohne Probenahme. Der Errechnung des K-Wertes liegt zwar letztlich auch die DARCY-Gleichung zugrunde, dies jedoch erst nach potentialtheoretischen Überlegungen und komplizierten Transformationen.

Vergleicht man nun beide (ebenfalls an Marschenböden) gewonnenen K-Werte miteinander, so kommt man zu folgendem Ergebnis:

Abb. 2 K-Wert-Vergleich (Stechring, horiz. und Bohrloch)

Die Werte streuen um die eingezeichnete Regressionsgrade, die von der idealen kaum abweicht. Der Korrelationskoeffizient beträgt 0,912.

An diese beiden Vergleiche möchte ich nun folgende Überlegungen knüpfen:

Wenn man auf zwei verschiedenen Wegen zum gleichen Ergebnis kommt, dann sind entweder beide falsch oder beide richtig. Angenommen letzteres

wäre der Fall, dann wäre gegen die Ermittlung des horizontalen K-Wertes anhand von Stechringproben nichts einzuwenden. Dies wiederum muß zur Folge haben, daß man dann auch gegen die Ermittlung des vertikalen K-Wertes anhand von Stechringproben, der ja mit dem horizontalen in gesetzmäßigem Zusammenhang steht, keine grundsätzlichen Einwendungen geltend machen kann. Die Frage einer Korrektur namentlich des letzteren Wertes bleibt hierbei ausgeklammert; ihre Notwendigkeit ergibt sich aus anderen, von der Methode unabhängigen Gründen.

Als Ergebnis meiner Ausführungen möchte ich nun formulieren:

Die in der beschriebenen Weise anhand von Stechringen ermittelten K-Werte sind geeignet, die Durchlässigkeit eines Bodens zu kennzeichnen bzw. die Böden oder Bodenhorizonte Durchlässigkeitsgruppen zuzuordnen.

Eine Kennzeichnung des Stauvermögens hingegen ließe sich erst nach Einführung eines Korrekturfaktors ermöglichen, dessen Ermittlung auf empirischem Weg erfolgen müßte.

Literaturverzeichnis

Beers, W.F.J. van: The Auger-Hole Method, Int.Inst. for Land Reclamation and Improvement, Bull.1, Wageningen, 1958

Breitenöder, M., u. Zanker, K.: Der Entzug des in Mineralböden eingedrungenen Niederschlagswassers durch die Dränung Schriftenreihe des Kuratoriums f. Kulturbauwesen, H. 8, Hbg., Verl. Wasser u. Boden, 1960

Dachler, R.: Grundwasserströmung, Springer-Verl., Wien 1936

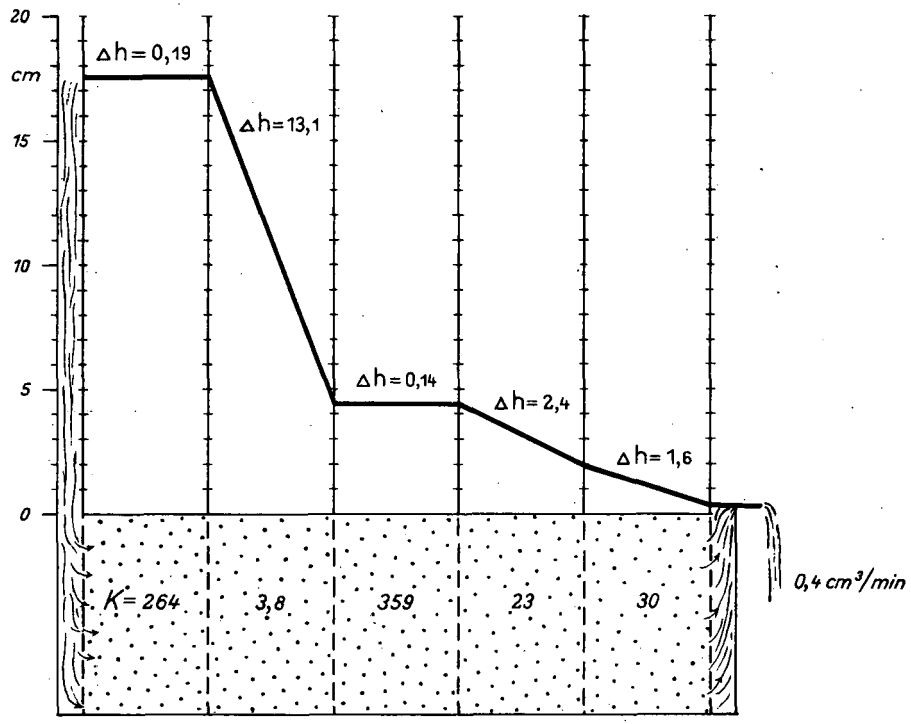
Edwards, D.H.: Water Tables, Equipotentials, and Streamlines in Drained Soils with Anisotropic Permeability, Soil Sc. 81, 3-18, 1956

Eggelsmann, R.: Durchlässigkeit und Grundwasserströmung am Beispiel der Moore am Steinhuder Meer und eines Moormarschpolders im Bremer Blockland, Ber. Landesanst. Bodennutzungsschutz 3, 125-132, 1962

Kuntze, H.: Temporäre Veränderungen der Durchlässigkeit der Marschböden, Ber. Landesanstalt Bodennutzungsschutz 3, 119-123, 1962

Rode, A.: Das Wasser im Boden (deutsche Herausgabe M. Treuel), Akademie-Verl. Berlin

Abb. 1 Druckabfall bei Schichten unterschiedlicher Durchlässigkeit



mittlerer K-Wert: a) gemessen = 16,7 cm/d
b) errechnet = 16,3 »

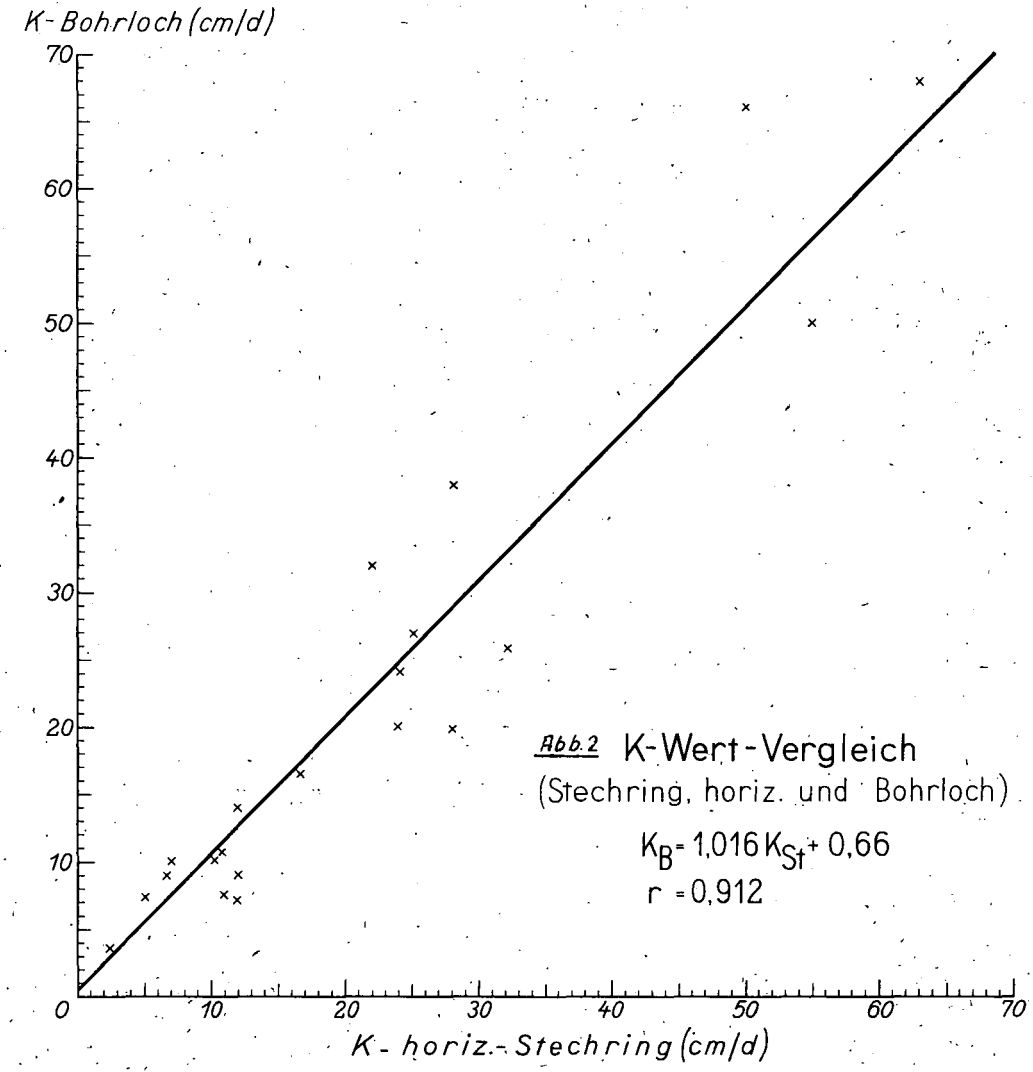


Abb. 2 K-Wert-Vergleich
(Stechring, horiz. und Bohrloch)

$K_B = 1{,}016\, K_{St} + 0{,}66$

$r = 0{,}912$

Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft Bd. 1 S. 285-291; 1963

CHARAKTERISIERUNG DER MIKROFLORA SCHWERER BÖDEN

von Th. Beck [x)]

I. Einleitung

Die Schwerpunkte bei der Bearbeitung bodenkundlicher Probleme lagen bisher recht einseitig auf den Gebieten des Bodenchemismus, seiner Physik und seiner Genese. Häufig vergaß man dabei, daß das was wir als Boden ansprechen, nicht nur in der Krume und einigen wenigen Zentimetern darunter, ein belebtes System von zum Teil außerordentlicher Vielgestaltigkeit darstellt. Wir glauben heute, daß man jeden Boden als einen Organismus mit ihm eigenen Leben anzusehen hat, dessen Lebensäußerungen auf den organischen wie auf den mineralischen Anteil bei einer gesamtheitlichen Betrachtungsweise zu berücksichtigen sind. Natürlich werden die Kleinlebewesen des Bodens, ähnlich wie das Wachstum der höheren Pflanzen, in ihrer Funktion weitgehend von den chmisch-physikalischen Bodeneigenschaften bestimmt, aber Mikroorganismen vermögen auch umgekehrt bei entsprechender Förderung ihrer optimalen Lebensbedingungen, die Standorteigenschaften durch ihre vielfältige Tätigkeit nachhaltig zu beeinflussen. Als Beispiel können genannt werden Veränderungen der Krümelstabilität über biologische Vorgänge, der Stickstoffkreislauf, die vermittelnde Tätigkeit von Mikroben beim Nährstofftransporte in der Rhizosphäre oder Fällungsreaktion und Mineralverwitterung als Folge von Mikrobentätigkeit. Alle diese Vorgänge und die meisten der sie auslösenden Mikroben sind schon längere Zeit bekannt. Es hat jedoch bisher meist an ernsthaften Versuchen gefehlt, nicht nur Einzelleistungen des Bodenlebens an einigen Böden nachzuweisen, sondern eine möglichst umfassende Gesamtschau der Biologie von einzelnen Bodentypen zu geben. Außerdem fehlte meist die Verbindung zu den Er-

x) Bayer. Landesanstalt f. Bodenkultur, Pflanzenbau und Pflanzenschutz, München, Menzinger Str. 54

gebnissen anderer, verwandter Disziplinen der Bodenkunde, wie etwa der Mineralogie, Geologie, der Boden-Chemie und -Physik. Im Rahmen der Arbeitsgemeinschaft schwerer Böden hat sich nun die sicher nicht alltägliche Gelegenheit geboten, an einer Reihe von ausgesuchten und in vielerlei Hinsicht genau analysierten Profilen von Tonböden, die Mikrobenverhältnisse und ihre spezifische Umsetzungstätigkeit zu untersuchen. Es war dies eine besonders reizvolle Aufgabe, weil in der Fachliteratur gerade über die Mikroflora schwerer Böden recht wenig und dann häufig auch nur sehr unpräzise Angaben vorliegen. Die bodenkundlichen Werke, auch neueren Datums, verweisen meist darauf, daß eine Bodenbelebung in schweren Böden, wenn überhaupt, dann sehr schwach ausgeprägt sei und sie führen als Ursache zumeist die sehr ungünstigen Strukturverhältnisse und anaeroben Bedingungen dieser Gruppe von Böden an. Die sehr eingehenden, bisherigen mikrobiologischen Untersuchungen von vier, zeitlich wie räumlich getrennten Serien von Profilproben von schweren Böden, zwingen zumindest in dieser verallgemeinernden Form zu einer Revision der obigen Ansicht.

II. Material und Untersuchungsmethodik

Bei den untersuchten Böden - Lettenkeuper- und Gipskeuperausbildung - aus dem Raum Würzburg-Iphofen und Tonböden im Frankenjura bei Thalmäßing sowie sowie einer Serie von staunassen und stärker verdichteten, schweren Böden im östlichen Bayern, handelt es sich durchwegs um die gleichen Standorte die bereits in den Arbeiten von Brunnacker, Ried und Altemüller besprochen wurden. Obwohl die einzelnen Profile teilweise mehrmals im Jahr mikrobiologisch untersucht wurden, kommt den Messungen wegen der bekannten, saisonbedingten Schwankungen des Mikrobenbesatzes, für die einzelnen Serien nur ein relativer und kein absoluter Wert zu. Um aber einen Standard zu besitzen an dem die von schweren Böden erhaltenen Ergebnissen geeicht werden konnten, haben wir auch andere Bodenbildungen, so einen humosen Sand und einen Lößboden aus dem gleichen Raum mit in das Untersuchungsprogramm aufgenommen. Was die Frage der von uns angewandten Methoden betrifft - und der Ausfall mikrobiologischer Teste wird nun einmal von der Art und Weise des Versuchsansatzes sehr entscheidend beeinflußt - so darf der Einfachheit halber auf Angaben in zwei Arbeiten im Bayerischen Landwirtschaftlichen Jahrbuch 60 und 62 verwiesen werden. Es muß hier aber grundsätzlich betont werden, daß wir im Sinne

Hans Poschenrieders, der auch diese Arbeiten hier angeregt hat, bestrebt waren, auf Grund von Prüfungen möglichst vieler Einzeleigenschaften in qualitativer wie in quantitativer Richtung einer gesamtheitlichen Charakterisierung des Bodenlebens zu erreichen. Dazu zählte in erster Linie die zahlenmäßige Feststellung der Bakterien, aufgeschlüsselt nach aktiven, vegetativen Formen und inaktiven Sporen, das Erfassen der besonders luftliebenden Schimmelpilze und der Streptomyceten, denen man heute bei der Humusneubildung, wie auch beim Humusabbau eine wichtige Rolle einräumt und dann schließlich auch die Auszählung der streng anaeroben Mikroben deren Anwesenheit man besonders in verdichteten Böden vermuten sollte. Von den durchgeführten Aktivitätsmessungen können erwähnt werden die Bestimmung des Nitrifikationsvermögens der Böden, bodenenzymatische Messungen am Beispiel der Katalase, Urease und Amylase, und vor allem Bestimmungen des mikrobenbürtigen CO_2 aus Böden im Laborversuch.

III. Die Besiedlungsdichte in schweren Böden

Aus all diesen aufgeführten Einzelmessungen ergab sich insgesamt gesehen, daß das Bodenleben in der Mehrzahl der mittlerweile etwa 20 untersuchten Profile von schweren Böden, zwar im Vergleich mit guten Böden nicht sehr üppig, aber auch meist nicht so verschwindend gering ist, wie das vielfach berichtet wird.

In manchen Profilen war die Zahl der Kleinlebewesen größenordnungsmäßig sogar durchaus mit den übrigen Mineralböden gleichzusetzen, wie eine Gegenüberstellung mit einem gleichzeitig aus demselben Raum untersuchten, lockeren Lößboden lehrt. Die Vergleichszahlen lagen meist zwischen etwa 20 - 80 % der Werte die für den Lößboden erhalten wurden. Die bodenphysikalischen Messungen lieferten aber Werte, die die meisten der untersuchten Böden als extrem verdichtete Tone auszeichneten. Sie werden ja wohl in der Mehrzahl noch Gelegenheit haben, sich bei den folgenden Exkursionen über die einzelnen Standorte näher zu informieren. Im Landw. Jahrbuch 60 und 62 haben wir bereits über den Gehalt und die Zusammensetzung der Mikroflora ausgesuchter Profile von zwei Untersuchungsserien ausführlicher berichtet. Ohne an dieser Stelle auf alle mikrobiologischen Gegebenheiten der Profile im einzelnen besonders einzugehen, lassen sich aus den bisherigen Untersuchungen eine Reihe, wie wir glauben, gesicherter Befunde über die Mikrobenverhältnisse in schweren Böden ableiten. Es

wurde dazu bereits ausgeführt, daß schwere Böden eine individuenärmere Mikroflora aufweisen können als Normalböden, das aber nicht immer der Fall zu sein braucht. Vermutlich wird erst das Zusammentreffen ungünstiger, struktureller Bodeneigenschaften mit schlechten, chemischen Milieuverhältnissen ein stärkeres Zurückdrängen des Bodenlebens bedingen. So ist an einigen Böden die Feststellung gemacht worden, daß eine saueure Bodenreaktion den Gehalt an Kleinlebewesen stärker zu beeinflussen vermag als nur ungünstige physikalische Bodenverhältnisse allein. Säuretolerante Bakterien wie sie immer in organischen Böden mit pH-Zahlen um und unter 4 reichlich auftreten, fallen in saueren, schweren Böden kaum ins Gewicht.

IV. Zusammensetzung der Mikroflora in Abhängigkeit von der Profiltiefe

Sehr überraschend war für uns zunächst bei den ersten Untersuchungen von Profilproben die Feststellung, daß häufig noch in größerer Tiefe, von einem halben Meter und darunter, auch in stark verdichteten Tonböden noch ein relativ starker Mikrobenbesatz anzutreffen ist. Nur vereinzelt war in 50 cm Tiefe die Besatzdichte unter einem Wert von 1 Million abgesunken und selbst in 1 m Tiefe lagen die Werte häufig noch über 100.000. Weitere Untersuchungen bestätigten diese Beobachtung für mehrere Standorte. Bemerkenswert ist diese Feststellung vor allem deshalb, weil wider Erwarten der Gehalt an streng anaeroben, auf den üblichen Nährböden gedeihenden Bakterien, in der tieferen Zone von verdichteten Böden nur äußerst gering ist. Diese luftscheuen Organismen finden sich dagegen immer in der besser durchlüfteten Oberkrume der Böden. Es ist dies deswegen kein Widerspruch, weil hier als Folge intensiverer Mikrobentätigkeit durch Stoffwechselausscheidungen das Redoxpotential nach der negativen Seite verschoben werden kann. Eingehendere Untersuchungen über die Artenverteilung der Mikroflora in tieferen Bodenschichten ergaben schließlich, daß schwach fakultativ anaerobe Bakterien aus der artenreichen Gattung Pseudomonas und Achromobacter, den Hauptanteil am Bodenleben der tieferen Bodenhorizonte ausmachen. Ihre Genügsamkeit gegenüber Luftsauerstoff befähigt diese Organismengruppe auch längere Zeitabschnitte stärkere Wassersättigung und damit völligen Luftabschluß zu überdauern, bis bei Austrocknung und Rissebildung eventuell die Sauerstoffspannung wieder leicht ansteigt.

Es ist naheliegend, sich auch die Frage vorzulegen, ob, abgesehen von den oberen, besser durchwurzelten und durchlüfteten Schichten, der Mikrobenbesatz in Tonböden ein autochthoner, ein natürlicher an Ort und Stelle gebundener ist, oder ob eventuell die Besiedlung tieferer Schichten nur die Folge rein zufälliger Anwesenheit durch Einschwemmung darstellt. Die Risse- und Klüftebildung in heißen Sommern als Folge der Austrocknung, könnte wohl als eine Infektionsquelle tieferer Bodenschichten anzusehen sein. Trotzdem sprechen einige Überlegungen gegen diese Annahme. Dazu zählt einmal die relativ gleichmäßige Besiedlung mit wenigen Spezies der sonst so artenreichen Bodenmikroflora. Nur wo ausnahmsweise, wie in einem, in vielerlei Hinsicht herausfallenden, sogenannten "Gipsschwarzerdeprofil", z.B. tiefere Horizonte einen auffallend hohen Humusgehalt besitzen, wird die relative Gleichförmigkeit im Mikrobenbesatz durch das starke Hervortreten anderer Mikrobenformen, wie etwa der Streptomyceten, Schimmelpilze, der nitrifizierenden Bakterien usw., abgelöst. Abgesehen von solchen, vom Normaltyp schwerer Tonböden durch bessere Nährstoffverhältnisse und andere Bedingungen bei der Bodenbildung abweichenden Profilen, bestätigt sich auch hier wieder die Ansicht Thienemanns, daß extreme Standorte durch einen verhältnismäßigen Individuenreichtum aber stärkere Artenarmut gekennzeichnet sind. Nimmt man an, daß die standortsspezifische Mikroflora in Tonböden autochthon ist, so muß zwangsläufig wegen des Fehlens von Wurzelausscheidungen in den stärker verdichteten unteren Schichten der Tonprofile, die Masse der sie besiedelnden Mikroben in ihren Ernährungsansprüchen äußerst genügsam sein. Tatsächlich finden sich nur unter den Vertretern der Pseudomonasgruppen, die ja, wie ausgeführt, vornehmlich in den Tonböden anzutreffen, der höchste Prozentsatz aller bisher geprüften Mikrobengruppen, die von sich aus in der Lage sind, alle zum normalen Wachstum notwendigen Wuchsstoffe, Vitamine und Aminosäuren selbständig zu synthetisieren. Wenn auch bisher nicht experimentell erwiesen, scheint daneben auch die bekannte Tatsache, daß Tonböden hohe Werte des Kationenaustausches besitzen - eine Eigenschaft die sie mit den Kolloiden in organischen Böden gemeinsam haben - einen gewissen selektiven Einfluß auf die Zusammensetzung der Bodenmikroflora auszuüben. Die Verfügbarkeit für positiv aufgeladene Ionen wie die Kernährstoffe NH_3, K, Ca und Mg, wäre in solchem System stärker eingeschränkt.

Alle diese Besonderheiten der schweren Tonböden in chemisch-physikalischer Hinsicht - wovon hier freilich nur einige wenige genannt wurden -

führen also im Endeffekt dazu, daß von wenigen Ausnahmen abgesehen, sich die Mikroflora durch eine Auswahl weniger standortsspezifischer Spezies diesen Umweltbedingungen anpaßt. Die für jeden Standort etwas anders verlaufende Abnahme der Besiedlungsdichte in Abhängigkeit mit der Profiltiefe, scheinen dabei häufig durch niedere Reaktionsverhältnisse des Bodens stärker beeinflußt zu werden als allein durch ungünstige Strukturverhältnisse.

V. Aktivität des Bodenlebens

Was schließlich noch die Mikrobenaktivität in den untersuchten Tonböden betrifft, so glauben wir, daß hier von der biologischen Seite her sinngemäß eine Aufschlüsselung nach zwei getrennten Gesichtspunkten erfolgen muß. Einmal ist es wichtig zu wissen, bis zu welchen Grade die zahlenmäßig und in ihrer Artenverteilung erfaßte Mikroflora unter den augenblicklich am Standort herrschenden Bedingungen tatsächlich aktiv ist, d.h., wie stark die durch Mikroben verursachte Umsetzungstätigkeit ist. Besonders den Landwirt aber wird interessieren, welche Möglichkeiten der Steigerung der bodenbiologischen Aktivität nach Aufhebung der eine optimale Entwicklung hemmenden, ungünstigen chemisch-physikalischen Bodeneigenschaften in seinem Boden stecken. Als Maß und als Gesamtausdruck der allermeisten der im Boden ablaufenden, biologischen Prozesse, diente die Bestimmung der Bodenatmung im Laborversuch, wobei von der Methodik her bereits der Anteil der Wurzelatmung angeschaltet werden konnte. Aus der vergleichenden Gegenüberstellung der Atmungsgröße einer konstanten Trockengewichtsmenge unter besten physikalischen Bedingungen (also Krümel mit etwa 60 % max. Wasserkapazität, optimale 0_2-Versorgung usw.) und den Atmungswerten von konstanten Bodenvolumina bei unveränderter Struktur, ergibt sich eine Relation, die auf den Ausnutzungsgrad der Mikroflora unter den Standortbedingungen schließen läßt. Diese speziell für mehr oder weniger verdichtete Böden entwickelte Arbeitsweise führte zu dem Ergebnis, daß im Gegensatz zum zahlenmäßigen Vorkommen der Mikroben in den Profilschichten, ihre Aktivität größtenteils sehr stark durch Bodenverdichtungserscheinungen beeinflußt wird. Je stärker und je schneller die Durchläftung im Profil abfällt, um so geringer auch die Umsetzungsleistungen. Siebt man jedoch diese Böden und feuchtet sie wieder an, so ist meist schon nach kurzer Zeit ein starker Anstieg in der mikrobenbürtigen CO_2-Abgabe festzustellen. Eine Ausnahme davon machen nur Profilproben deren Keimgehalt extrem gering war oder niedrige pH-Werte aufwies. Es ist daher der Schluß naheliegend, daß schwere Böden zwar kein

sehr tätiges Mikrobenleben besitzen, daß in ihnen aber, wie wir das bereits einmal formuliert haben, eine unerwartet starke "potentielle Abbaukraft" ruht. Die Voraussetzung dafür ist im Vorhandensein einer vergleichsweise individuenreichen aber speziesarmen, jedoch besonders angepaßten Mikroflora auch in den tieferen Schichten schwerer Böden. gegeben.

Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft Bd. 1 S. 293-295, 1963

EINIGE VERSUCHE ZUR MIKROBIOLOGISCHEN CHARAKTERISIERUNG VERSCHIEDENER BODENTYPEN

von E. König +)

Da jeder Bodentyp durch einen typischen Profilaufbau gekennzeichnet wird, ist es unumgänglich notwendig, das Mikroorganismenleben nicht nur im A-Horizont sondern auch in den einzelnen Horizonten des Profils zu untersuchen, um zu einer Aussage über die Mikrobiologie eines Bodentyps zu gelangen. Die einzelnen Horizonte bieten den Mikroorganismen durch ihre unterschiedlichen Eigenschaften auch unterschiedliche Standortsbedingungen und so kann angenommen werden, daß ein bestimmter Bodentyp sich nicht nur in seinem physikalischen und chemischen Eigenschaften sondern auch in seinem Mikroorganismenleben von anderen unterscheidet. Um einen ersten orientierenden Überblick über die Belebtheit verschiedener Bodentypen zu erhalten, wurden die einzelnen Horizonte auf ihre Besatzdichten und auf einige physiologische Leistungen ihrer Mikroflora untersucht. Eine solche Untersuchungsweise erlaubt keine Aussage über die Vergesellschaftung der Mikroorganismen an einem Standort, sondern gibt lediglich quantitative Auskünfte über den Mikroorganismenbesatz.

Für die im folgenden beschriebenen Versuche wurde für jeden Bodentyp ein repräsentatives Profil ausgewählt. Es wurde auch nur eine einmalige Probenahme vorgenommen, so konnten nur statische Werte erzielt werden. Es darf also weniger Gewicht auf die gefundenen absoluten Besatzdichten als auf deren relative Änderung mit der Tiefe gelegt werden. Bakterien- und Pilzbesatz wurden nach dem Koch'schen Plattengußverfahren bestimmt, die CO_2-Abgabe mit der von KOEPF und SCHAFFER modifizierten Methode von ISERMEYER. Die Bestimmung der Algen, Zellulosezersetzer und Azotobacter erfolgte nach Methoden von POCHON, die Aussagen machen über die Anwesenheit und relative Häufigkeit dieser Organismengruppen im Boden.

+) Institut für Bodenkunde der Universität 53, Bonn, Nussallee 13

An drei Böden einer Catena (Braunerde - Pararendzina-Braunerde - Pararendzina) konnte gezeigt werden, daß die Aktivität des Mikroorganismenlebens in den einzelnen Böden mit der Tiefe verschieden stark abnimmt. Die tiefgründigere Braunerde ist bis in größere Tiefen noch sehr viel stärker belebt, als z.B. die Pararendzina, in der im C-Horizont in 30 - 35 cm Tiefe der Besatz schon stark zurückgeht. Daraus wird auf eine Substratabhängigkeit des Mikroorganismenbesatzes geschlossen. Neben der Substratabhängigkeit wird die Abhängigkeit des Mikroorganismenlebens von der Tiefe deutlich beim Vergleich des tieferliegenden C-Horizonts der Braunerde und des höher liegenden C-Horizonts der Pararendzina, der stärker belebt ist als jener. Ein C-Horizont ist umso mehr belebt je näher er an die Oberfläche rückt. Bei der Betrachtung des Pilz- und Bakterienverhältnisses fällt auf, daß in den Profilen nach unten zu die Bakterien immer mehr über die Pilze überwiegen. Es ist anzunehmen, daß die Ursache dafür die relative Luftarmut der unteren Horizonte gegenüber den oberen ist.

An einer zweiten Reihe von drei Böden einer Catena (Parabraunerde, entstanden aus einer degradierten Schwarzerde - schwach erodierte-degradierte Schwarzerde - Pararendzina) konnte dieselbe Beziehung zwischen Tiefe und Substratbeschaffenheit einerseits und dem Mikroorganismenbesatz andererseits gezeigt werden wie an den Profilen der ersten Catena. Allerdings sind die aus Schwarzerde entstandenen Profile insgesamt sehr viel stärker belebt als die Profile der ersten Catena.

Der Vergleich eines Podsols und eines Auebodens zeigte klar das außerordentlich schwache Mikroorganismenleben im saueren nährstoffarmen Podsol gegenüber dem nahezu neutralen nährstoffreichen Aueboden. Zudem erfolgt die Abnahme im Podsol sehr schnell, so daß er in 55-66 cm Tiefe als "beinahe steril" bezeichnet werden kann. Dagegen ist der Aueboden in 20-30 cm Tiefe beinahe noch so kräftig belebt wie an der Oberfläche. In diesem Boden treten die Pilze gegenüber den Bakterien sehr stark zurück, dies kann in Beziehunggebracht werden zum zeitweisen Wasserstau und der dadurch bedingten Luftarmut im Aueboden.

Bei der Untersuchung von drei Pseudogley-Profilen, deren Ausgangsmaterial Graulehme sind, zeigte sich, daß in allen Profilen unter den verhältnismäßig kräftig belebten A-Horizonten das Mikroorganismenleben sehr stark schwindet,

sobald ein g-Horizont beginnt. In einem der drei Pseudogley-Profile, das die Merkmale der Pseudovergleyung am wenigsten ausgeprägt zeigt, nehmen die mikrobiologischen Aktivitäten in der Tiefe nicht so schnell ab wie in den anderen. In den staunassen, luftarmen Horizonten zeigt sich auch hier ein Zurücktreten der Pilze gegenüber den Bakterien.

Nach den Feststellungen der unterschiedlichen Besatzdichten verschiedener Bodentypen wird es notwendig, das Mikroorganismenleben in einem Böden über eine Vegetationsperiode hinweg zu verfolgen, um detaillierte Einblicke in seine Dynamik im Laufe eines Jahres zu erhalten. Untersuchungen dieser Art sind bereits im Gange.

Diese Arbeit wurde mit Mitteln des Ministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten des Landes Nordrhein-Westfalen durchgeführt.
Eine ausführliche Darstellung der Versuchsergebnisse ist für einen späteren Zeitpunkt vorgesehen.

Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft Bd. 1 S. 297-302, 1963

FREISETZUNG VON NICHT AUSTAUSCHBAREM KALIUM

Von F. Bailly [+)]

Kalium-Ionen sind im Boden mit unterschiedlicher Haftfestigkeit gebunden. BOLT, SUMNER und KAMPHORST konnten drei Kalium-Formen unterscheiden und charakterisieren: Die an den Aussenflächen der Illit-Minerale gebundenen K-Ionen, die durch alle Kationen rasch und leicht ausgetauscht werden; die in den randlichen Partien der Zwischenschichträume gebundenen K-Ionen, die eine viel höhere Bindungsfestigkeit aufweisen und bei wiederholter Extraktion mit NH_4-Ionen erfaßt werden; und die im Innern der Zwischenschichträume befindlichen K-Ionen, die erst nach längeren Zeiträumen und bei sehr geringen K-Gehalten der Außenlösung freigesetzt werden. Bei geringen Gehalten an austauschbarem K könnte die GAPON'sche Gleichung nicht mehr angewendet werden, weil dann sowohl leicht austauschbares K als auch ein Teil des in den randlichen Partien der Zwischenschichträume befindlichen K gleichzeitig erfaßt wurde.

Diese Abhängigkeit zwischen austauschbarem K und leicht freisetzbarem nicht austauschbaren K war auch bei Entzug von nicht austauschbarem K durch die Pflanzen in Gefäß- und Dauerdüngungsfeldversuchen nachzuweisen. Gewöhnlich besitzen die sehr lange nicht gedüngten Böden sowohl weniger austauschbares K als auch ein niedrigeres K-Nachlieferungsvermögen als die entsprechenden gedüngten Böden. Trotzdem ist es unmöglich, allein aus dem jeweiligen Gehalt an austauschbarem K Rückschlüsse zu ziehen auf die Höhe der K-Nachlieferungsfähigkeit, und zwar vor allem weil die mineralogische Zusammensetzung der Böden unterschiedlich ist.

Es wurden daher chemische Extraktionsmethoden angewendet, um den Teil des nicht austauschbaren K erfassen zu können, der für Pflanzen nachlieferbar ist, oder der doch wenigstens in einer engen Beziehung zum nachlieferbaren K steht. Es wird hier über einen Vergleich derartiger Extraktionsmethoden berichtet, zu dem K-haltige Minerale in der Korngröße $<2\,\mu$ und eine Reihe

[+)] Institut f. Bodenkunde, Techn. Hochschule, 3 Hannover-Herrenhausen, Herrenhäuser Straße 2,
Direktor: Prof. Dr. P. Schachtschabel

von Böden aus den K- und K_o-Parzellen langjähriger Düngungsfeldversuche (siehe Vortrag Dr. ZEHLER) herangezogen wurden. Als Methoden wurden die Extraktion mit Salpetersäure, mit Harzaustauscher und die Extraktion durch Glühbehandlung nach KOLTERMAN-TRUOG geprüft.

Unter dem Begriff "nicht austauschbares K" wird hier das Gesamt-K abzüglich des austauschbaren K, und unter "freisetzbares K" das durch die chemischen Methoden erfassbare nicht austauschbare K verstanden werden.

Bei der Anwendung der Extrationsmethode mit Salpetersäure wurden 400 mg Mineral bzw. 2,5 g Boden mit 25 ml normaler Salpetersäure bei 20° C und bei 50° C extrahiert. Bei den Mineralen ergab sich, daß Biotit und Vermikulit bereits nach wenigen Tagen nahezu 100 % des nicht austauschbaren K verloren hatten. Aus Muskovit, Illit und Montmorillonit wurden nach fast viermonatiger Extraktionsdauer etwa 50 - 70 % freigesetzt. Die Freisetzung aus Kalifeldspat (Orthoklas) erreichte in der gleichen Zeit nur etwa 15 %. Die K-Freisetzung bei 20° C läuft bei Biotit und Vermikulit nur wenig langsamer ab, während aus allen übrigen Mineralen selbst nach nahezu 4 Monaten erst höchstens 5 - 15 % freigesetzt wurden.

Die Auswertung von Röntgendiagrammen derart extrahierter Proben ergab, daß die K-Freisetzung in erster Linie mit dem Abbau des Mineralgitters verbunden ist. Er ist bei Illit sehr stark, und führt bei Biotit, Vermikulit und Montmorillonit bis zur Umwandlung in röntgenamorphe Substanzen. Außerdem laufen aber auch Umtauschvorgänge ab, und die damit verbundene Aufweitbarkeit des Schichtebenenabstandes ließ sich bei Illit-Proben nachweisen, die nur wenige Tage lang extrahiert worden waren.

Aus den Böden der Feldversuche ließ sich bei 50° C nach fast 4 Monaten zwischen 5 und 18 % des nicht austauschbaren K freisetzen. Bei 20° C wurde nur etwa halb so viel freigesetzt. Ein großer Teil des Gesamt-K der Böden liegt demnach in einer schwer freisetzbaren Form vor. Aus der Betrachtung der Korrelationskoeffizienten zu den Beziehungen zwischen freigesetztem K und den übrigen K-Formen (Darstellung 1) ergibt sich, daß unabhängig von

(DARSTELLUNG 1)

der Extraktionstemperatur - 20° oder 50° C - die Beziehungen der Freisetzungswerte zum austauschbaren K nach kurzer Extraktionsdauer von nur wenigen Tagen zwar gesichert, aber doch nur wenig straff sind; nach längeren Extraktionszeiten sind sie ungesichert. Andererseits sind die Beziehungen zum nicht austauschbaren K durchweg viel straffer und immer gut bis sehr gut gesichert. Das bedeutet, daß diese Methode nur bei kurzzeitiger Extraktion und auch nur in geringem Umfang bevorzugt jenen Anteil des nicht austauschbaren K erfaßt, der in einer gewissen Abhängigkeit zum austauschbaren K steht.

Auch das bei 100° in der Siedehitze extrahierte K (Darst.1, letzte Spalte) besitzt sehr gut gesicherte Beziehungen zu dem bei 50° C oder 20° C freigesetzten K. Das heißt, daß sich auf diese Weise keine prinzipiellen Unterschiede in der K-Freisetzung zwischen den verschiedenen Temperaturen feststellen lassen.

Als zweites Extraktionsmittel wurden mit Wasserstoff-Ionen belegte, stark saure Harzaustauscher vom Typ Lewatit S 100 der Fa. Bayer herangezogen. Die Menge an H-belegtem Harzaustauscher, die den Mineralen bzw. Böden zugesetzt wurde, war etwa äquivalent der H-Ionen Menge bei der zuvor besprochenen Salpetersäure-Methode.

Bei den Mineralen ist im Vergleich mit der Salpetersäure-Methode bei Verwendung der Harzaustauscher die K-Freisetzung aus Illit und Montmorillonit deutlich geringer; bei Biotit und Vermikulit läuft sie nur wenig langsamer ab, während sie bei Orthoklas und Muskovit kaum verändert ist. Die Auswertung von Röntgendiagrammen extrahierter Proben ergab, daß auch hier der Gitterabbau der wichtigste und auffallendste Vorgang ist. Bei Biotit und Vermikulit entstehen wiederum röntgenamorphe Substanzen. Die Aufweitbarkeit der Schichtebenenabstände bei Illit, die durch Umtauschvorgänge hervorgerufen wird, ist hier jedoch deutlicher erkennbar als bei den Säure-extrahierten Proben.

Bei den Böden ist die K-Freisetzung durch Harzaustauscher - gleiche Extraktionsdauer und -temperatur vorausgesetzt - etwa ebenso hoch wie die K-Freisetzung durch Salpetersäure. Für die Beziehungen zwischen diesem sog. Harzaustauscher-K und den anderen K-Formen sind die Korrelationskoeffizienten in Darstellung 2

(DARSTELLUNG 2)

wiedergegeben. Die Beziehungen zwischen Harzaustauscher-K und austauschbarem K sind nach kurzzeitiger Extraktion von nur wenigen Tagen sehr eng und sehr gut gesichert, werden aber rasch weniger straff und sind nach fast 4 Monaten nur noch teilweise gesichert. Eine gegenläufige Tendenz zeigen die Beziehungen zum nicht austauschbaren K, die nach kurzer Extraktionsdauer ungesichert, nach längerer Zeit hingegen straff und gut bis sehr gut gesichert sind.

Während das pH von normaler Salpetersäure etwas oberhalb O liegt, konnten in Harzaustauscher-Suspensionen sehr viel höhere pH-Werte bis etwa 5 gemessen werden. Erst im Laufe der Extraktion sinken die pH-Werte in der Harsaustauscher-Suspension ab. Daher wirken - zumindest bei kurzzeitigen Extraktionen von höchstens einigen Tagen Dauer - H-belegte Harzaustauscher schonender auf die Minerale des Bodens ein als starke Säuren. Darüber hinaus besteht jedoch zwischen der Extraktion mit H-belegten Harzaustauschern und der Extraktion mit starken Säuren kein prinzipieller Unterschied.

Als dritte Methode wurde die von KOLTERMAN-TRUOG eingeführte Glühmethode verwendet. Dabei werden NH_4-belegte Proben mehrfach bei 500 °C geglüht und das nach jeder Glühung gegen NH_4-acetat austauschbar gewordene K bestimmt. Aus den Werten der ersten 5 Glühungen läßt sich das insgesamt freisetzbare K nach KOLTERMAN-TRUOG berechnen.

Bei der Extraktion der Minerale fiel auf, daß die absoluten und relativen Unterschiede zwischen den Freisetzungswerten der einzelnen Minerale geringer sind als bei der Salpetersäure-Extraktion, und daß die K-Freisetzung aus Vermikulit und besonders aus Biotit geringer ist als die aus den Illiten. Die Freisetzung des Biotits erreicht nicht einmal die des Muskovits.

Man nimmt an, daß während des Glühens gasförmiges NH_3 entsteht, welches eine randliche Aufweitung der Zwischenschichträume hervorruft und damit die K-Freisetzung fördert. Diese spezifische Wirkung der NH_4-Ionen während des Glühens ist bei Biotit sehr viel geringer als bei Illit, wie aus Versuchen hervorgeht, bei denen Illit und Biotit einmal bei NH_4-Belegung (entspr. der Original-Vorschrift) und einmal bei Mg-Belegung mehrfach geglüht und extrahiert wurden. Aus dem Illit wurde bei NH_4-Belegung mehr als doppelt soviel K freigesetzt als bei Mg-Belegung. Bei Biotit sind nur unbedeutende-

Differenzen zwischen beiden Belegungsarten zu verzeichnen. Daraus ließen sich gegen diese Methode schwer wiegende Einwände ableiten, die jedoch weniger bedeutsam sind, weil in den meisten unserer Böden Biotit nur in untergeordnetem Maße auftritt, und weil ein großer Teil des nachlieferbaren K unsererBöden als Illit-K gebunden ist, das durch die Glühmethode gut erfaßt wird.

Bei den Böden wurden zum Teil die von ZEHLER bestimmten Werte mit herangezogen. Es konnten zwischen 5 und 16 % freisetzbares K ermittelt werden. Für die Beziehungen zu den übrigen K-Formen sind in Darstellung 3 die Korrelationskoeffizienten wiedergegeben. Es ergibt sich, daß die Beziehungen zum austauschbaren K

(DARSTELLUNG 3)

ungesichert, die zum nicht austauschbaren K jedoch erheblich straffer und immerhin einfach gesichert sind. Durch die Glühmethode wird also jener K-Anteil, der sich in den randlichen Zwischenschichträumen befindet und zugleich in einer gewissen Beziehung zum austauschbaren K steht, nicht bevorzugt erfaßt. Besonders deutlich zeigen dies die Beziehungen zwischen Kolterman-K und Harzaustauscher-K (Darst.3, dritte Spalte), die bei kurzzeitiger Harzaustauscher-Extraktion völlig ungesichert sind und erst nach längerer Dauer straffer werden und einfach bis gut gesichert sind Die engsten Beziehungen bestehen zum Salpetersäure-extrahierbare K. Es wird also festgestellt, daß sich das Kolterman-K bei diesen Böden durch eine besonders enge Beziehung zum nicht austauschbaren K auszeichnet.

Die Betonung, die auf die Unterschiede in der Straffheit aller aufgeführten Beziehungen gelegt wurde, darf nicht zu der Annahme führen, diejenige Bestimmungsmethode sei in jedem Fall die beste, die eine möglichst enge Korrelation zum austauschbaren K aufweist, denn dann hätte die Ermittlung des nachlieferbaren K keine andere Aussagekraft als die des austauschbaren K. Es wurde darum keine Bewertung der absoluten Straffheit der Beziehungen durchgeführt, sondern lediglich eine Bewertung ihrer relativen Unterschiede.

Zusammenfassung:

1. Bei langfristigen Extraktionen mit H-Austauschern und mit Salpetersäure und besonders bei Extraktion durch Glühbehandlung nach KOLTERMAN-TRUOG sind die Beziehungen des freigesetzten K zum austauschbaren K sehr schlecht und gleichzeitig die zum nicht austauschbaren K sehr eng.

2. Bei kurzzeitiger Salpetersäure-Extraktion besteht zwar eine relativ enge Beziehung zum austauschbaren K, doch ist die Beziehung zum nicht austauschbaren K deutlich besser.

3. Bei kurzzeitiger Harzaustauscher-Extraktion ist die Beziehung zum austauschbaren K deutlich enger als die zum nicht austauschbaren K.

4. Die genannten Extraktionsmethoden sind nicht gleichartig und müssen je nach Anwendungsziel unterschiedlich bewertet werden.

K (HNO_3) Extraktions-Temperatur (°C)	Dauer (Tage)	Lineare Korrelationskoeffizienten r der Beziehungen zwischen K (HNO_3) und austauschbarem K	nicht austauschbarem K	K (HNO_3) 100°
20°	2	0,67 $^{+}$	0,78 $^{++}$	0,93 $^{+++}$
	115	0,40	0,81 $^{+++}$	0,97 $^{+++}$
50°	0,5	0,54 $^{+}$	0,82 $^{+++}$	0,96 $^{+++}$
	2	0,40	0,85 $^{+++}$	0,83 $^{+++}$
	115	0,32	0,74 $^{++}$	0,93 $^{+++}$
100°	10 min	0,44	0,80 $^{+++}$	–

n = 14 $^{+}p = 5\%$ $^{++}p = 1\%$ $^{+++}p = 0{,}1\%$

Darstellung 1

K (Aust) Extraktions-Temperatur (°C)	Dauer (Tage)	Lineare Korrelationskoeffizienten r der Beziehungen zwischen K (Aust) und austauschbarem K	nicht austauschbarem K
20°	2	0,92 $^{+++}$	0,40
	115	0,60 $^{+}$	0,84 $^{+++}$
50°	1	0,85 $^{+++}$	0,50
	4	0,67 $^{++}$	0,74 $^{++}$
	115	0,45	0,69 $^{++}$

n = 14 $^{+}p = 5\%$ $^{++}p = 1\%$ $^{+++}p = 0{,}1\%$

Darstellung 2

Lineare Korrelationskoeffizienten r der Beziehungen zwischen K (Kalt) und

		K (HNO_3)		K (Aust)	
austauschbarem K	0,20	20°C 2 Tage	0,75 $^{++}$	20°C 2 Tage	0,26
		115 "	0,90 $^{+++}$	115 "	0,71 $^{++}$
nicht austauschbarem K	0,67 $^{+}$	50°C 0,5 "	0,84 $^{+++}$	50°C 1 "	0,20
		2 "	0,88 $^{+++}$	4 "	0,37
		115 "	0,92 $^{+++}$	115 "	0,68 $^{+}$

n = 13 $^{+}p = 5\%$ $^{++}p = 1\%$ $^{+++}p = 0{,}1\%$

Darstellung 3

Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft Bd.1 S. 303-307, 1963

ZUR KENNZEICHNUNG DES KALIUM-HAUSHALTES VON LÖSSBÖDEN LANGJÄHRIGER DÜNGUNGSVERSUCHE

Von E. Zehler [x)]

Zielsetzung - Untersuchungsmaterial

Ziel der Untersuchungen an Lössböden statischer Dauerdüngungsversuche (1), die im Institut für Bodenkunde (Dir. Prof. Dr. P. Schachtschabel) der TH Hannover durchgeführt wurden, war es festzustellen,

1) wieweit die durch K-Entzug und unterschiedliche K-Düngung hervorgerufenen Ertragsunterschiede bei verschiedenen Kulturpflanzen sich auch in den Bodeneigenschaften, speziell im Kaliumhaushalt, der einzelnen Düngungsparzellen wiederspiegeln und
2) wie dies mit Hilfe chemischer Methoden zur Bestimmung der verschiedenen K-Formen des Bodens deutlich gemacht werden kann.

Die untersuchten Lössböden entstammen den verschiedenen Lössedimentationsräumen West-, Nord- und Mitteldeutschlands. Die Proben (Horizonttiefen 0-20 (25), 20 (25) - 50 cm) sind den verschiedenen Düngungsparzellen folgender langjähriger Düngungsversuche entnommen:

1) Dauerdüngungsversuch Bonn-Dikopshof, 1904 angelegt
2) Statischer Versuch Lauchstädt, 1902 angelegt
3) Versuch "Ewiger Roggenbau" Halle, 1878 angelegt
4) Kalidüngungsversuche Ohlendorf-Dorstadt II - Sossmar im Raum Südhannover, 1952 angelegt.

Bis zum Zeitpunkt der Probenahme wiesen die Versuche 1 - 3) eine Versuchsdauer von mehr als 50 bzw. 80 Jahren, die Versuche 4) von 5 Jahren nach.

Die nachfolgenden auszugsweisen Ergebnisse basieren auf den Analysenwerten der K- und Ko-Parzellen)(NPK - NP) der stallmistlosen Blöcke, die, insgesamt betrachtet, je nach Versuchsfeld, Versuchsperiode und Kultur jährliche K_2O-Gaben zwischen 80 - 480 kg/ha erhielten.
Die Werte zur Charakterisierung der allgemeinen Bodeneigenschaften

x) Dr. Erich Zehler, Hannover, Kortumstraße 18

(Oberboden) liegen innerhalb folgender Bereiche: pH (KCl) 6,4 - 7,3, $CaCO_3$ < 0,1 %, organische Substanz 1,6 - 2,8 %, A.K. 10 - 25 mval/100 g Boden, V-Wert 90 - 100 %, Tongehalt (<2 µ) 13 - 26 %.

Die Erträge auf den K- und K_0-Parzellen haben sich mit zunehmender Versuchsdauer immer stärker unterschieden. Die Höhe dieser Ertragsdifferenz hängt von der jeweiligen Kulturart innerhalb der meist mehrgliedrigen Fruchtfolge ab und ist besonders stark bei Kartoffeln, Zuckerrüben, Weizen, Hafer und Leguminosen, weniger deutlich bei Roggen und Gerste ausgeprägt.

Die verschiedenen Formen des Bodenkaliums

G e s a m t - K

Die Gesamt-K-Gehalte (Schmelzaufschluß mit $CaCO_3$-NH_4Cl) schwanken zwischen 1,57 - 2,12 % für den Gesamtboden, zwischen 1,97 - 3,07 % für die Tonfraktion. Sie liegen damit innerhalb der Grenzen, die für Böden mit hohen Anteilen an glimmerartigen Ton- und Wechsellagerungsmineralen, insbesondere an mehr oder weniger aufweitbaren Illiten, in den feineren Fraktionen bekannt sind. Die K-Düngung hat sich vorwiegend auf den älteren Versuchsböden in einer Zunahme des Gesamt-K des Bodens und der Fraktionen < 2 µ und 10 - 50 µ ausgewirkt. In der Fraktion < 2 µ ist auf den K_0-Parzellen der Gesamt-K-Gehalt bei Bonn um 12 %, bei Halle um 7,5 %, und bei Lauchstädt um 6,5 % geringer als auf den K-Parzellen. Die Gesamt-K-Gehalte der Oberböden sind höher als die der Unterböden, was auf eine K-Anreicherung durch Fixierung schließen läßt. - Wenn das Gesamt-K auch keine Aussage über die K-Dynamik im Boden zuläßt, so ist doch bemerkenswert, daß die unterschiedliche K-Düngung sich bereits in dieser K-Form wiederspiegelt.

A u s t a u s c h b a r e s K

Die verwendeten Methoden zur Bestimmung des austauschbaren K (MEHLICH, DL, AL, NH_4-ac.) zeigen mit r > 0,94 signifikante Korrelationen. Die Gehalte an austauschbarem K (NH_4-ac.) schwanken zwischen 4 - 20 mg K/100 g Boden. Für die Oberböden betragen die Gehaltsdifferenzen zwischen den K- und K_0-Parzellen 8 - 13 mg K, während die Unterböden keine Unterschiede, sondern nahezu konstante Werte von 5 - 8 mg K/100 g Bo-

den aufweisen. Ähnliche Aussagen lassen sich über den K-Sättigungsgrad der verschiedenen Parzellen und Bodentiefen machen. Das austauschbare K, das nur 1,25 % des Gesamt-K ausmacht, beschränkt sich fast vollständig auf die Fraktion $< 2\,\mu$ mit 82 % und 2 - 10 μ mit 11 % und erklärt die Abhängigkeit dieser K-Form vom Tongehalt der Lössböden. Bei der K_0-Parzelle ist in der Tonfraktion mehr austauschbares K vorhanden als bei der K-Parzelle, was auf eine Aufweitung der Mineralstruktur in den ungedüngten Böden schließen läßt. Der genannte Schwellenwert in den Unterböden von 5 - 8 mg K/100 g Boden, entsprechend etwa 0,3 - 0,5 mg K/g Ton bzw. ein K-Sättigungsgrad von ca. 1 - 2 % dürften dem Gleichgewichtszustand dieser Lössböden zwischen dem austauschbaren K und den übrigen Formen des Boden-K entsprechen. Wie die Werte der Oberböden auf den K_0-Parzellen zeigen, scheint unter diesem Grenzwert das austauschbare K selbst bei langjährig unterbliebener K-Düngung nicht abzusinken. Die ständige K-Nachlieferung aus schwerlöslichen Formen in die leichtlösliche austauschbare Form muß jedoch zu einer allmählichen Entkalisierung und Aufweitung der Tonminerale führen.

N a c h l i e f e r b a r e s K

Das nichtaustauschbare, nachlieferbare, freisetzbare K wurde mit Hilfe der Glühmethode nach KOLTERMAN-TRUOG (K_{Kolt}) und der Säureextraktion (K_{HNO_3}) bestimmt, wobei eine hochsignifikante Korrelation zwischen dem HNO_3- und dem H_2SO_4-löslichen K mit $r > 0,97$ ermittelt wurde.

Die untersuchten Lössböden besitzen eine hohe Reserve an freisetzbarem K, das allerdings mit den verschiedenen Formen des austauschbaren K nicht oder nur schwach gesichert korreliert. Die Werte schwanken zwischen 81 - 360 mg $K_{Kolt.}$ und 27 - 126 mg K_{HNO_3}/100 g Boden und machen 6 - 16 bzw. 2 - 6 % des Gesamt-K aus. Zwischen den K- und K_0-Parzellen bestehen je nach Alter der Versuche für die Oberböden Unterschiede von 2-47 mg $K_{Kolt.}$ und 1 - 19 mg K_{HNO_3}/100 g Boden bzw. 0,4 - 1,3 und 0,4 - 0,8 mg/g Ton. Im Vergleich zu den Oberböden haben die Unterböden der K- und K_0-Parzellen einen relativ konstanten Gehalt an säurelöslichem K bewahrt, der wiederum als bodenspezifisch betrachtet werden kann. Zwischen dem K_{HNO_3} und dem Tongehalt der Böden besteht eine positive Beziehung. 2/3 - 3/4 des freisetzbaren K vom Gesamtboden sind der Fraktion $< 2\,\mu$, 10 - 20 % der Fraktion 2 - 10 μ zuzuordnen.

F i x i e r t e s K

Die Menge des naß und trocken fixierten K ist abhängig von der Menge des K-Angebotes (normalerweise 100 mg K/100 g Boden), und nimmt beim vorliegenden Untersuchungsmaterial mit steigendem Angebot in Abhängigkeit vom Tongehalt absolut zu, relativ jedoch ab, ohne selbst bei einer Konzentration von 500 mg K/100 g Boden einen Endwert zu erreichen. Das Trocknen des Bodens erhöht die Fixierung um das 2 - 3fache. Bei einem K-Angebot von 100 mg/100 g Boden wurden ca. 10 - 20 % der K-Vorlage naß und ca. 20 - 50 % trocken festgelegt.

Die untersuchten Lössböden sind somit durch die Fähigkeit gekennzeichnet, erhebliche K-Mengen in nicht-austauschbarer Form zu fixieren, und zwar bis zu 1 mg K/g Ton in den Oberböden. Die Absolutwerte des naß fixierten K in den Ober- und Unterböden schwanken zwischen 5 - 41 mg K/100 g Boden, entsprechend 0,3 - 2,2 mg K/g Ton, wobei die Unterböden stärker als die Oberböden fixieren. Bei allen Versuchsfeldern - bei den älteren stärker als bei den jüngeren - besitzen die Oberböden der K_0-Parzellen im Vergleich zu den K-Parzellen eine um 1 - 10 mg K/100 g Boden bzw. 0,1 - 0,5 mg K/g Ton höhere Fixierung. Bezieht man die Analysenwerte auf den Tongehalt, so zeigt sich ein deutlicher Zusammenhang zwischen dem naß fixierten und dem austauschbaren K. Während die Fixierung unterhalb eines Wertes von etwa 0,7 mg austauschbarem K/g Ton stark zunimmt, sinkt das austauschbare K nur bis zu einem Grenzwert von etwa 0,3 mg K/g Ton ab. Desgleichen erfolgt unterhalb eines K-Sättigungsgrades von ca. 2 % eine schnelle Zunahme der K-Fixierung. - Eine Beziehung zwischen dem fixierten K und dem gesamten bzw. nachlieferbaren K besteht dann, wenn diese für jedes Versuchsfeld getrennt aufgestellt wird. Besonders auf den langjährigen Düngungsversuchen, aber auch schon bei den jüngeren, nimmt die K-Fixierung mit zunehmendem Gehalt am säurelöslichem K ab.

Schlußfolgerungen

Die Untersuchungen zur Kennzeichnung des K-Haushaltes von Lössböden haben gezeigt, daß diese Böden bei einer durchschnittlich mäßigen Versorgung mit austauschbarem K durch hohe K-Fixierung und K-Nachlieferung charakterisiert sind. Die K- und K_0-Parzellen haben sich bei unterschiedlicher Ertragsbildung im Laufe der Versuchsjahre hinsichtlich dieser Eigenschaften mehr oder weniger differenziert. Die prozentualen Unterschiede betragen:

Versuchsfeld	K_o in % von K		
0-20(-25) cm	K (NH_4-ac.)	K (HNO_3)	K (fix.)
Halle	25	69	126
Bonn	32	77	188
Lauchstädt	49	85	179
Ohlendorf	58	98	233
Dorstadt II	41	84	172
Sossmar	57	91	104
Ø	44	84	167

In den K_o-Parzellen steht einem hohen Fixierungsvermögen ein geringes Nachlieferungsvermögen gegenüber; die Böden der K-Parzellen fixieren relativ wenig K und besitzen einen relativ hohen Gehalt an nachlieferbarem K. Die geringeren Werte an nachlieferbarem K und die stärkere K-Fixierung auf den K_o-Parzellen können als eine Erschöpfung infolge langjähriger intensiver Kultivierung verbunden mit hohem K-Entzug ohne entsprechenden Ausgleich durch K-Düngung - und / oder als eine höhere Verfügbarkeit des auf den K-Parzellen fixierten Dünger-K gewertet werden.

Literatur

1. Zehler, E. : Die Kalium-Nachlieferung und Kalium-Fixierung von Lößböden statischer Düngungsversuche. Diss. T.H. Hannover, 1959

Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft Bd. 1 S. 309-318, 1963

BEZIEHUNGEN ZWISCHEN KALIUMFIXIERUNG UND BODENENTWICKLUNG AM BEISPIEL VON LÖSSEN

von
E. A. Niederbudde x)

I. Einleitung

Mehrere Arbeiten der letzten Jahre befassen sich mit der K-Fixierung unter dem Gesichtspunkt von K-Entzug und Kali-Düngung (6, 11, 12). Da die K-Fixierung durch aufgeweitete Dreischicht-Tonminerale, insbesondere durch Hemi- und Oligoexpandite (7) bewirkt wird, kann sie zur Indizierung mineralgenetischer Prozesse sowie von Mineralverlagerungen im Profil beitragen.

> Bilanzuntersuchungen an zwei Parabraunerden aus primär carbonathaltigem Würm-Löss der zentralen mitteldeutschen Lösslandschaft (2) ergaben, daß die Bildung der Fraktion $< 0,6$ µ überwiegend auf einer mechanischen Zerkleinerung von Glimmern der Schluff-Fraktionen beruht. Die tonmineralogischen Untersuchungen am Profil (Stoffbilanz) ergab eine beträchtliche Tonverlagerung, die in einem Fall 53 % und im anderen etwa 20 % im Vergleich zum Ausgangssediment betrug.

Diese Ergebnisse und auch weitere Befunde über körnungsselektive Tonverlagerungen (2, 10) lassen ein unterschiedliches K-Fixierungsvermögen insbesondere in den morphologisch unterscheidbaren Horizonten der Lössbodenserien erwarten. Durch vergleichende Untersuchungen an Profilen aus verschiedenen Löss-Sedimentationsräumen ist es somit möglich, über die K-Fixierung Hinweise auf Gesetzmäßigkeiten bei Mineralumbildungen bzw. Mineralverlagerungen zu erhalten, soweit diese die expandierten Dreischicht-Tonminerale als Bindungspartner des fixierten Kaliums betreffen. Zusätzlich können die Resultate als Kennzahlen für die Beurteilung der hier abgehandelten Bodentypen bzw. deren Horizonte hinsichtlich ihres inhärenten K-Fixierungsvermögens dienen.

x) Landwirtschaftliche Forschungsanstalt BÜNTEHOF, Hannover-Kirchrode, Bünteweg 8, Dir.Prof.Dr. E. Welte

II. Material und Methoden

Insgesamt wurden 31 Löss-Profile untersucht. Die regionale Verbreitung der Profile umfaßte den Raum von der nordöstlichen Begrenzung der Löss-Sedimentation innerhalb Niedersachsens im Gebiet von Helmstedt bis südlich von Hannover, also die Mittelgebirgsvorlandzone, die Becken- und Hügellandschaften im Gebiet des Leinegrabens sowie das nordhessische Lössgebiet und dessen Randzonen bis in den westfälischen Raum um Warburg. In allen Fällen entwickelten sich die Bodentypen aus kalkhaltigem Würm-Löss, die die Hauptstandorte der landwirtschaftlich genutzten Lössvorkommen repräsentieren. Die ursprünglich carbonatfreien, stark sauer reagierenden Decklösse, die wahrscheinlich jüngeren Datums sind und als landwirtschaftlich genutzte Standorte keine große Bedeutung haben, wurden ausgegliedert und bei den Untersuchungen nicht berücksichtigt.

Bei den zur Untersuchung herangezogenen Lössen handelt es sich auf Grund der hohen Carbonatanteile nach LIEBEROTH (4) wohl überwiegend um W_{γ_1}-Löss, nur in selteneren Fällen um W_{γ_2}- Löss. Eine Untergliederung zwischen diesen beiden Lössen des Jungwürms konnte nicht vorgenommen werden, da in den meisten Fällen, insbesondere in den zentralen niedersächsischen Beckenlandschaften, die Löss-Mächtigkeit 2 m selten übersteigt und Leithorizonte fehlen.

K-Fixierung. Als Austauscherlösung diente sowohl zur Bestimmung des austauschbaren Kaliums (Blindwerte) als auch zum Rücktausch des nicht fixierten Kaliums 0,5 n NH_4-Azetat. Die Einwirkungsdauer betrug eine Stunde. In dieser Zeit wurde die Austauscherlösung 3 x erneuert (jeweils 40 ml). Die K-Vorlagen wurden mit 10 mg K/1 g Ton berechnet. Die Konzentration der Angebotslösung war im Falle der Fixierung aus der Lösung 0,01 n (bezeichnet als "nasse" Fixierung). Bei der als "trocken" bezeichneten Fixierung wurde die Lösung bei 70° C eingedampft.

Schlämmanalyse. Als Dispergierungsmittel wurde nach einem Vorschlag von KILMER und ALEXANDER (3) Calgon benutzt. Soweit erforderlich erfolgte die Zerstörung der Carbonate bei pH 3 mit anschließendem Auswaschen des $CaCl_2$ und 3-minütiger mechanischer Dispergierung unter Zusatz von 20 ml Calgon im Starmix.

K-Schwellenwert. Da die Fixierungswerte durch Düngung nicht beeinflußt sein sollten, wurden die Ap-Horizonte und zum größten Teil auch die A_1-Horizonte von den Untersuchungen ausgenommen. Als zusätzliche Sicherung wurde zur Beurteilung das austauschbare Kalium herangezogen. 0,7 mg K/1 g Ton konnte dabei als oberer Schwellenwert nach unseren Erfahrungen mit k-fixierenden, nicht kali-gedüngten Böden angenommen werden.

III. Gliederung der Horizonte nach farb- und gefügemorphologischen Kriterien

Nach der farbmorphologischen Ausprägung der Tonhäutchen in den B_t-Horizonten können zwei morphologisch-genetische Entwicklungsreihen unterschieden werden.

Schwarze, huminstoffhaltige Tonhäutchen zeigen an, daß sich der Bodentyp aus den Feuchtschwarzerden als Anfangsstadium der Bodenbildung entwickelt hat. Die Huminsäurebildung unter Einfluß von katalytisch aktivem Eisen und die damit verbundene enge Eisen-Huminstoffkoppelung führen zu einer Stabilisierung der Huminstoffe (8). Die tiefschwarzen, huminstoffhaltigen Tonhäutchen werden daher nach Verlagerung aus den Feuchtschwarzerde-A-Horizonten zum großen Teil in den B_t-Horizonten konserviert. Rotgefärbte Tonhäutchen lassen dagegen ein tschernosemartiges evtl. auch braunerdeartiges Anfangsstadium der Bodenbildung erkennen.
B. MEYER (5) unterscheidet nach solchen Merkmalen zwischen:

Feuchtschwarzerde ⟶ Griserde-Serie

Trockenschwarzerde ⟶ Parabraunerde-Serie
Braunerde

Berücksichtigt man Entkalkungstiefe, Mächtigkeit des B-Horizontes und dessen farb- und gefügemorphologische Ausprägung, so können verschiedene Entwicklungsstufen innerhalb beider Entwicklungsreihen untergliedert werden. Im vorliegenden Fall wurden 4 Stufen unterschieden (Stufe I = Anfangsstadium, IV - Endstadium, II und III = Übergangsstadium).

Um eine Aufsplitterung in zu kleine Horizontgruppen zu vermeiden, wurde eine vereinfachte Gruppierung der Bodentypen durchgeführt. Als Horizontsymbole wurden die in der Fachliteratur vorgeschlagenen Bezeichnungen gewählt (9).

Tab. 1: Horizontgliederung und Bodentypen

Horizont-Bezeichnung	Bodentypengruppe
A_1 u. A_2	Gley-Schwarzerden, Feuchtschwarzerden (Stufe I und II), Trockenschwarzerden.
A_3 u. A_1	Griserden, Parabraunerden.
B_t	Feuchtschwarzerden Stufe II, Griserden, Parabraunerden.,
C	Ausgangsmaterial: Autochtoner u. paraautochtoner Löss des Jungwürms.

Die Schwarzerdegruppe umfaßt die A-Horizonte der Gley-Schwarzerden und Trockenschwarzerden sowie die A_1- und A_2-Horizonte der Feuchtschwarzerden aus den Entwicklungsstufen I und II . Die Gris- und Parabraunerdegruppe setzt sich zusammen aus den A_3- und A_2 Horizonten der Stufen III und IV. Ferner wurden die B_t-Horizonte[x)] der Stufen II, III und IV zu einer Gruppe zusammengefaßt.

Nach dieser vereinfachten Gliederung der Lössbodentypen, die in einer Zweigliederung der mehrstufigen Entwicklungsreihen besteht, mußten von den untersuchten Profilen 13 der Schwarzerdegruppe und 18 der Gris- und Parabraunerdegruppe zugeordnet werden. Die bedeutsame Stellung der Feuchtschwarzerde-Griserde-Serie nach MEYER innherlab der untersuchten Verbreitungsgebiete kommt darin zum Ausdruck, daß von 13 Profilen der Schwarzerdegruppe allein 11 als Feuchtschwarzerden zu bezeichnen waren.

IV. Beziehungen zwischen K-Fixierung und Tongehalt

Auf die Darstellung der Regressionsgraden und Streuungen der einzelnen Wertpaare muß an dieser Stelle verzichtet werden. Die Wiedergabe der Korrela-

x) (B)-Horizonte, die oft an der Basis der B_t-Horizonte auftreten, werden im Rahmen dieser Arbeit nicht berücksichtigt.

tionskoeffizienten (Tab.2) gestattet einige Aussagen über die einheitliche Ausprägung der Horizonte hinsichtlich ihres inhärenten K-Fixierungsvermögens.

Tab. 2: Der Korrelationskoeffizient (r) zwischen Tongehalt und K-Fixierung

Bezeichnung	n	nasse Fixierung	trockene Fixierung, 70° C
A-Horizonte der Schwarzerden	16	0,293	0,651 xx)
C-Horizonte der Schwarzerden	13	0,299	0,720 xx)
C-Horizonte insgesamt	28	0,463 x)	0,758 xxx)
A-Horizonte der Gris- u. Parabraunerden	23	0,617 xx)	0,575 xx)
B_t-Horizonte d. Gris- u. Parabraunerden u. Stufe II	31	0,441 x)	0,884 xxx)

x) signifikant auf p = 5 %
xx) signifikant auf p = 1 %
xxx) signifikant auf p = 0,01 %

Die regional zerstreut liegenden Schwarzerden zeigen so unterschiedliche Differenzierungen in den A-Horizonten, daß keine korrelativen Beziehungen zwischen nasser K-Fixierung und dem Tongehalt bestehen. Analog zu diesen Horizonten ist bei den entsprechenden C-Horizonten mit r = 0,299 ebenfalls keine gesicherte Beziehung nachzuweisen. Unter trockenen Festlegungsbedingungen ist die Abhängigkeit zunehmender K-Fixierung und ansteigendem Tongehalt auf p = 1 % in beiden Fällen signifikant. Die korrelationsstatistische Verrechnung sämtlicher C-Lösse ergibt im Falle der nassen Fixierung zwar eine auf p = 5 % signifikante Beziehung, doch ist die Streuung der Wertpaare sehr groß. Nach Eintrocknung der K-Lösung ist die Beziehung hochsignifikant. Den C-Lössen sehr ähnlich verhalten sich die B_t-Horizonte.

Die Darstellung feinerer Unterschiede, die sich aus den Regressionsgraden und Streuungen ergibt, muß einer späteren Veröffentlichung vorbehalten bleiben. Doch geht aus der Gegenüberstellung der Korrelationskoeffizienten eindeutig hervor, daß die A_3- und A_1-Horizonte der Gris- und Parabraunerden eine Sonderstellung einnehmen. Allen Horizonten gemeinsam ist eine beträchtliche Erhöhung der Signifikanz bei der trockenen Fixierung gegenüber der nassen mit Ausnahme der A_3- und A_1-Horizonte. Die korrelationsstatistische Verrechnung von nasser K-Fixierung und Tongehalt ergibt hier trotz geringer Fixierungswerte, bei denen die methodisch bedingten Fehler am größten sind, die signifikanteste Beziehung aller Horizonte. Dagegen ist keine Straffung der Beziehungen unter trockenen Festlegungsbedingungen festzustellen. Der Korrelationskoeffizient wird kleiner.

Die Deutung dieses Befundes ergibt sich aus der Tonmineralalterung zum Al-Chlorit und der Tonverlagerung im Profil. Beide Prozesse führen zu einer beträchtlichen Verminderung der nassen K-Fixierung in den A_3- und A_1-Horizonten, wodurch die großen Fixierungsunterschiede der C-Lösse weitgehend verschwinden. Die Schwächung der Korrelation bei der trockenen Fixierung kann dadurch erklärt werden, daß in den A-Horizonten der Gris- und Parabraunerden in einigen Fällen die Al-Fixierung, in anderen Fällen die Tonverlagerung überwiegt. Koinzidiert nun die Tonanreicherung mit der Al-Fixierung, so resultiert gleichzeitig mit der durch die Eintrocknung bewirkten Zunahme der Dehydratation der Al-Hydroxy-Komplex-Ionen in den Zwischenschichten der Dreischicht-Tonminerale ein überproportional ausgeprägter Fixierungszuwachs. Diese Eingenschaft ist charakteristisch für solche Minerale, deren negative Ladungen nur zum Teil mit Al-Ionen besetzt sind, so daß Kalium nach Eintrocknen eine Kontraktion der Schichtpakete bewirken kann (Intergrades im Sinne von DIXON u. JACKSON (1)). Bei extremer Verarmung der A-Horizonte an aufgeweiteten Dreischicht-Tonmineralen ist der Fixierungszuwachs gering, da die Minerale, die eine zusätzliche Fixierung des Kaliums bewirken könnten, fehlen. Die durch die unterschiedliche Verlagerungsintensität bewirkte Differenzierung in der tonmineralogischen Zusammensetzung der A_3- bzw. A_1-Horizont-Tone kommt bei der korellationsstatistischen Verrechnung von trockener K-Fixierung und dem Tongehalt gut zum Ausdruck. Bei der nassen Fixierung ist das nicht der Fall, weil Tonmineralalterung und Tonverlagerung auf die nasse K-Fixierung in der gleichen Richtung wirken, nämlich in einer beträchtlichen Abnahme dieser Eigenschaft.

Die mineral- und bodengenetischen Faktoren üben auf die Höhe der K-Fixierung einen beträchtlichen Einfluß aus. In Tab. 3 sind die Mittelwerte der Fixierungsbeträge je 1 g Ton und die mittleren Abweichungen zusammengestellt. Wie hieraus ersichtlich, nehmen die K-Fixierungsbeträge vom C-Löss über B_t, A_1 und A_2 zu den A_3- bzw. A_1-Horizonten der Gris- und Parabraunerden ab. Bei der nassen K-Fixierung betragen die Werte für die Tonfraktionen der A_3-Horizonte nur noch knapp 1/3 der C-Löss-Tone.

Tab. 3: Mittelwerte u. Streuungen von K-Fixierungen in Lössböden und Lössen (mg K/1 g Ton [x])

Horizonte	A_3 u. A_1	A_1 u. A_2	B_t	C
	Nasse K-Fixierung			
n	23	16	31	28
M	0,85	1,64	2,10	2,75
s	± 0,37	± 0,41	± 0,46	± 0,70
	Trockene K-Fixierung			
M	2,57	3,67	4,67	5,15
s	± 0,60	± 0,46	± 0,27	± 0,47

Die Streuungen sind in den Lössen sehr hoch, in den A-Horizonten der Gris- und Parabraunerden mit ± 0,37 relativ niedrig. Daraus ist zu folgern, daß die fehlende sedimentäre Einheitlichkeit der Lösse, wie sie in den korrelationsstatistischen Verrechnungen und den hohen Streuungswerten der nassen K-Fixierung zum Ausdruck kommt, für die Beurteilung der A-Horizonte der Gris- und Parabraunerden stark an Bedeutung verliert.

Die Tendenz der Verringerung der K-Fixierung vom C-Löss zu den A-Horizonten der Gris- und Parabraunerden bleibt auch bei der trockenen Fixierung erhalten. Hierbei ist zu bemerken, daß Fixierungszuwachs und Streuung bei den A-Horizont-Tonen der Gris- und Parabraunerden besonders hoch sind. Auf die

x) Vorlage: 10 mg K/1 g Ton.

Ursachen dieser Erscheinung wurde bei der Diskussion der korrelativen Beziehungen bereits eingegangen.

Die für die Horizontgruppen bestimmten Mittelwerte ergeben Differenzen, die höher liegen als die mittleren Abweichungen. Daher können die Mittelwerte der nassen und trockenen Fixierungsbeträge als Kenngrößen für die entsprechenden Horizonte gelten.

V. Zusammenfassung

Vorliegende Untersuchungen haben gezeigt, daß eine verallgemeinernde Beurteilung der Lößböden hinsichtlich ihres K-Fixierungsvermögens nicht statthaft ist. Für die aufgezeigte Differenzierung sind verschiedene bodengenetische Prozesse verantwortlich: vorübergehende oder permanente Versauerung, Humifizierung, Tonbildung und Tonverlagerung. Das Ergebnis dieser Prozesse ist die Ausprägung farb- und gefügemorphologisch unterscheidbarer Horizonte mit Fixierungskennzahlen, die in der Reihenfolge A-Horizonte der Gris- und Parabraunerden < A-Horizonte der Schwarzerden < B_t-Horizonte < C-Horizonte zunehmen.

Schrifttum

1. Dixon, J.B. u. Jackson, M.L.: Properties of Intergradient Chlorite - Expansible Layer Silicates of Soils. Soil Sci. Amer. Proceed. 26, 358-362 (1962)

2. Fölster, H. Meyer, B. u. Kalk, E.: Parabraunerden aus primär carbonathaltigem Würm-Löss. II: Tonbildung, Tonverlagerung, Gefügeverdichtung, Tonumwandlung. Z. Pflanzenernähr., Düng., Bodenk., 100, 1-12 (1963)

3. Kilmer, V.J. u. Alexander, L.J.: Methods of Making Mechanical Analysis of Soils. Soil Sci., 68, 15-24 (1949).

4. Lieberoth, J.: Löss-Sedimentation und Bodenbildung während des Pleistozäns in Sachsen. Geologie 12, 149-187 (1963).

5. Meyer, B., Kalk, E. u. Fölster, H.: Parabraunerden aus primär carbonathaltigem Würm-Löss. I: Entkalkung, Verbraunung, Mineralverwitterung. Z. Pflanzenernähr., Düng., Bodenk., 99, 37-54 (1962)

6. Reichenbach, H. v.: Über Beziehungen zwischen Kaliumnachlieferung und Kaliumfestlegung des Bodens. Ver.d.2.u.4. Kommission d.Intern.Bodenkundl. Gesellschaft, Bd.II, 188-193 (1958).

7. Scheffer, F., Fölster, H. u. Meyer, B.: Zur Diagnostik und Systematik von Dreischicht-Tonmineralen in Böden und pedogenen Sedimenten. Chem.d.Erde, 21, 210-238 (1961).

8. Scheffer, F., Meyer, B.u. Niederbudde, E.A.: Huminstoffbildung unter katalytischer Einwirkung natürlich vorkommender Eisenverbindungen im Modellversuch. Z.Pflanzenernähr., Düng., Bodenk., 87, 26-44, (1959)

9. Scheffer, F.u.Schacht-Schabel, P.: Bodenkunde, 5.Auflage, Enke-Verlag Stuttgart (1960)

10. Schlichting, E.u.Blume, H.P.: Art u. Ausmaß der Veränderungen des Tonmineralbestandes typischer Böden aus jungpleistozänem Geschiebemergel und ihrer Horizonte. Z.Pflanzenernähr., Düng., Bodenk., 95, 227-239 (1961)

11. Welte, E.u.Niederbudde, E.A.: Fixation and Availability of Potassium in Loess-derived and Alluvial Soils. J. Soil Sci. im Druck.

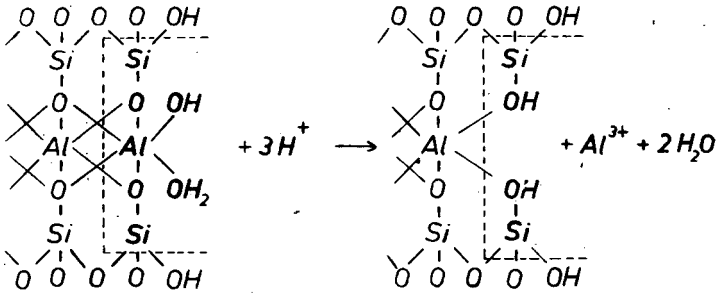
12. Welte, E., Niederbudde, E.A.u.Werner, W.: Zur Kaliumdynamik illitreicher Auelehme bei intensiver Bepflanzung. Z.Pflanzenernähr., Düng., Bodenk., 96, 157-169 (1962)

Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft Bd.1, S. 319-323, 1963

DAS VERHALTEN DES AUSTAUSCHBAREN ALUMINIUMS BEI DER ALTERUNG VON H-TONMINERALEN

von U. Schwertmann +)

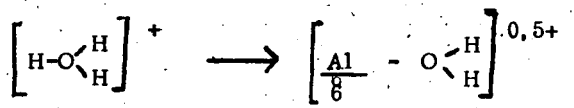
Hydronium-gesättigte Al-Silikate wandeln sich im Laufe der Zeit in Aluminium-gesättigte um. Diese Reaktion ist in ihrer Abhängigkeit von der Zusammensetzung des Silikats und von der Temperatur hinreichend bekannt. LAUDELOT und EECKMAN (1958) bestimmten ihre Aktivierungsenergie bei einem Montmorillonit zu 20,400 kcal/Mol. Die Freisetzung des Al aus dem Silikatgitter mag etwa wie folgt verlaufen:



Freisetzung von Al^{3+} aus einem Dreischicht-Tonmineral durch H^+

+) aus dem Institut für Bodenkunde der Technischen Hochschule Hannover - Direktor Prof. Dr. P. Schachtschabel.

Die Triebkraft dieser Reaktion ist offenbar die geringe Säurestärke der Kieselsäure (pK = 9,5). Das freigesetzte Al liegt als monomeres, 6-fach koordiniertes Aluminiumkation vor, das als Al-substituiertes Hydronium nach dem Schema



aufgefaßt werden kann. Es hat daher die Formel $\left[Al\ (OH_2)_6\right]^{3+}$ und ist als Aluminiumhexahydronium zu bezeichnen (JACKSON 1960). Dieses besetzt als austauschbares Kation die Austauschplätze zwischen den Elementarschichten aufweitbarer Dreischichtminerale. Die Säurestärke des Minerals wird durch diesen Vorgang von etwa mittelschwach beim elektrostatisch gebundenen H_3O auf schwach beim Aluminiumhexahydronium vermindert. Der mehrfach bestimmte (SCHOFIELD und TAYLOR 1954, RAGLAND und COLEMAN 1960) pK_1-Wert des letzteren beträgt ca. 5 und ist damit etwa gleich der der Essigsäure.

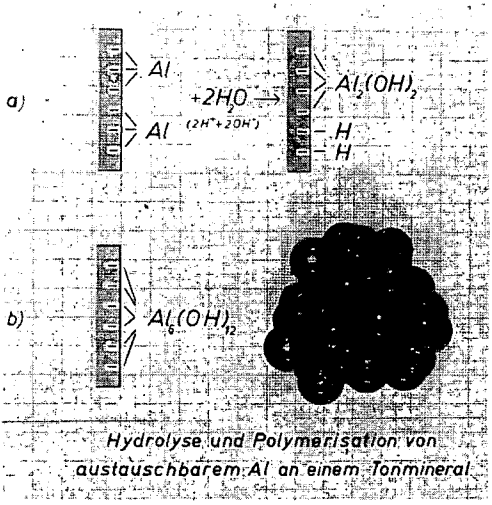
H-Al-Tonminerale zeigen daher bei der potentiometrischen Titration 2 Pufferbereiche.

Bei der potentiometrischen Titration von Montmorillonit, der mit H-Harz H_3O-gesättigt wurde und dann in diesem Zustand bis 135 Tage alterte, zeigte sich nun ein dritter Pufferbereich zwischen pH 5,5 und 7,6, wenn die Titration kontinuierlich und in Gegenwart starker Elektrolyte durchgeführt wurde (SCHWERTMANN u. JACKSON 1963). (Potentiograph der Fa. Metrohm).

Während im Laufe der Alterung der Anteil an austauschbarem Wasserstoff zu Gunsten des austauschbaren Aluminiums bis auf 0 abnimmt und der Anteil des austauschbaren Aluminiums ein Maximum durchläuft, steigt derjenige des 3. Pufferbereiches von 17 auf 55 % des Gesamtlaugenverbrauchs an. Nach Wiederbehandlung des 135 Tage gealterten Montmorillonits mit H-Harz fällt das Ausmaß des 3. Bereichs auf seinen Anfangswert zurück.

Da ein Pufferbereich im ähnlichen pH-Bereich auch bei $AlCl_3$-Lösungen auftritt, die teilweise mit NaOH neutralisiert (bis zu einem OH/Al

von 2,25) und 7 Monate gealtert wurden und dieser Bereich dem polymeren sog. 5/6 basischen Al-Salz, also einer OH-haltigen Al-Verbindung mit OH/Al = 2,5 zugeschrieben wird, ordnen wir den beim Montmorillonit auftretenden 3. Bereich polymeren, basischen Al-Kationen zu. Offenbar werden die hochgeladenen Kationen unter dem Einfluß der negativen Ladung der Silikatschichten aus dem monomeren Aluminiumhexahydronium gebildet. Dieser Vorgang ist schematisiert wie folgt zu denken:



Hydrolyse und Polymerisation von austauschbarem Al an einem Tonmineral

(In der Abbildung ist unter b) ein Kugelmodell der vollständigen Einheit $\left[Al_6(OH)_{12}\right]^{6+}$ abgebildet mit der Formel

$$\left[Al_6(OH)_{12}(OH_2)_{12}\right]^{6+}$$

Die dunkleren Kugeln stellen die OH-, die helleren die OH_2-Gruppen dar. Die Al-Atome sind verdeckt (n.JACKSON 1963).)

Die so gebildete hexamere Einheit ist 6-fach positiv geladen und wohl aus diesem Grunde nicht mehr austauschbar. In Versuchen mit Vermikulit (SCHWERTMANN u. JACKSON 1964) zeigte sich tatsächlich, daß die dem 3. Bereich zuzuschreibenden Verbindungen nicht mehr mit n-KNO_3 austauschbar waren.

Zusammenfassend lassen sich also die 3 bei der Neutralisation des sauren Dreischichttonminerals ablaufenden Reaktionen wie folgt formulieren:

1. Bereich: $$\left[H_3O\right]^+ + OH \rightarrow 2H_2O$$

2. Bereich: $$\left[Al(OH_2)_6\right]^{3+} + 3OH^- \rightarrow Al(OH)_3 + 6H_2O$$

3. Bereich: $$\left[Al_x(OH)_{3x-n}(OH_2)_m\right]^{n+} + nOH \longrightarrow Al_x(OH)_{3x}(OH_2)_{m-n} + nH_2O$$

Durch weiteres Anwachsen der OH-Al-Einheiten wird allmählich eine mehr oder weniger vollständige Schicht mit hydrargillitischer Zusammensetzung zwischen den Elementarschichten gebildet; es entsteht "sekundärer oder Bodenchlorit".

Daher entsteht bei Verwitterung im Boden solange kein freier Hydrargillit als noch aufweitbare Dreischichttonminerale vorhanden sind (Antigibbsit-effekt nach JACKSON (1963).

Ein 3. Pufferbereich wurde in weiteren Untersuchungen auch an Vermikulit gefunden und konnte dort nicht nur durch Alterung, sondern außerdem durch Hinzugabe löslicher Hydroxy-Al-Polymere erzeugt werden. Der Vermikulit verliert dadurch einen wesentlichen Teil seiner Kontrahierbarkeit bei Zufuhr von K.
Aber auch Böden und Tonfraktionen von Böden, die frei von organischer Substanz sind, weisen diesen Bereich in erheblichem Maße auf, und zwar nicht nur nach vorheriger Behandlung mit H-Harz bzw. anschließender Alterung, sondern bereits im natürlichen Zustand.

Auf Grund dieser Versuche scheint es möglich, den Kalkbedarf von versauerten Unterböden mit pH 5 - 5,5 der Neutralisation sehr schwach

saurer Gruppen an nicht austauschbaren polymeren Hydroxy-Al-Kationen zuzuschreiben. Der Sitz dieser Gruppen zwischen den Elementarschichten würde es auch plausibel machen, weshalb die Neutralisation im Boden nur sehr langsam erfolgt, so daß einerseits ihr Ausmaß durch eine schnelle Kalkbedarfsbestimmung unterschätzt wird, und andererseits der gewünschte pH-Anstieg nur über Jahre hin erreicht wird.

LITERATURVERZEICHNIS

1. Jackson, M.L., Trans. 7th Congr. Int. Soc. Soil Sci. 2, 445 (1960)
2. Jackson, M.L.: Proc. Soil Sci. Soc. Amer. 27, 1 (1963)
3. Laudelout, H. and J.P. Eeckman:
   Trans. Intern. Soc. Soil Sci., Comm. II and IV, 2, 194 (1958)
4. Ragland, J.L. and N.T. Coleman:
   Proc. Soil Sci. Soc. Amer. 24, 457 (1960)
5. Schofield, R.K. and A.W. Taylor:
   J. Chem. Soc. 18, 4445 (1954)
6. Schwertmann, U. and M.L. Jackson:
   Science 139, 1052 (1963)
7. Schwertmann, U. and M.L. Jackson:
   Proc. Soil Sci. Soc. Amer. 28, (1964) im Druck

Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft Bd. 1 S. 325-340, 1963

DER MARSCHBODEN IM WANDEL DER ANSCHAUUNG ÜBER SCHWERE BÖDEN

von H. Kuntze +)

Je weiter man sich geographisch von den Marschgebieten der Nordsee entfernt, umso eher ist die alte Vorstellung über die fruchtbaren und ertragreichen Marschböden noch stark verbreitet. Nähert man sich jedoch diesem Raume, so wird der fachkundige Betrachter zumindest ein deutliches Zurückbleiben dieser einst landwirtschaftlich so reichen Marschen erkennen. Es ist daher lohnend und notwendig, diesen deutlichen Wandel der Anschauungen über Marschböden im Vergleich zu anderen schweren Böden einer näheren Betrachtung zu unterziehen.

Die Ertragsbildung auf Marschböden im Vergleich zu anderen Böden

Dazu dienen folgende Tabellen 1 + 2, die aus einer Befragung von über 2.000 in Versuchs- und Beratungsringen betreuten Betrieben entstanden sind. Es werden Durchschnittserträge von Getreide als der z.Zt. arbeits- und flächenproduktivsten Feldfrucht angegeben. Gleichzeitig sind damit sorten- und anbaubedingte Abweichungen einzelner Jahre ausgegliedert. Verglichen werden die Erträge auf sogen. Geestböden (Reichsbodenschätzung < 30 Pkt.), auf Lößlehmböden des südhann.-braunschweig. Raumes (nach Reichsbodenschätzung den Marschen am nächsten stehend) und auf Marschböden.

+) Grünlandlehranstalt und Marschversuchsstation f. Niedersachsen - Infeld/Nordenham (2892)

Tabelle 1: Getreideerträge auf nieders. Böden

	Sandböden d. Geest	schwere Böden der Börde	Marschen
Anzahl erfaßter Betriebe	851	576	625
Ø Getreideerträge dz/ha (letztes Jahrfünft)	27,9	37,2	28,2
Ø Ertragsmaximum dz/ha	34,2	41,7	36,5
Ø Ertragsminimum dz/ha	18,9	29,5	19,8
Differenz d. Ertragsextreme dz/ha	15,3	12,2	16,7
Differenz d. Ertragsextreme in % v. Ertragsdurchschnitt	54,8	32,8	58,4

Entwicklung der Getreideerträge

	dz/ha	rel.	dz/ha	rel.	dz/ha	rel.
1900	12,7	100	25,8	100	18,0	100
1920	16,2	128	27,8	108	21,0	117
1935/38	24,1	190	33,1	128	25,7	143
1950/53	25,6	202	35,6	138	26,3	146
1959/62	27,9	220	37,2	144	28,6	159

Noch behaupten die schweren Böden der Bördelandschaften ihre Spitzenstellung im Getreide-Ertragspotential der letzten 5 Jahre. Die Erträge der hinsichtlich klimatischer Lage besser vergleichbaren Geestböden sind denen auf Marschböden schon recht nahe gekommen. Zwar sind auf Marschböden ähnlich hohe Spitzenerträge wie auf den Lößböden zu erzielen, die Ertragsschwankungen zwischen Höchst- und Tiefstterträgen betragen hier jedoch 58,4 % gegenüber dort nur 32,8 %. Selbst auf den im Wasserbedarf stärker niederschlagsabhängigen Geestböden ist der Unterschied zwischen den Ertragsextremen geringer (54,8 %). Vielleicht ist hier vereinzelt ein Ausgleich durch die künstliche Beregnung gelungen. Die Entwicklung der Getreideer-

träge seit 1900 zeigt den bekannten unterschiedlichen Verlauf auf den genannten Böden. Der weitaus größte Ertragszuwachs ist auf Geestböden bis zur endgültigen Einführung der mineralischen Düngung ca. 1935/38 erreicht. Die Erträge haben sich hier seit der Jahrhundertwende bis heute mehr als verdoppelt. Auf den schweren Böden der Börde ist seitdem demgegenüber nur ein allmählicher Ertragszuwachs von 44 % zu verzeichnen. Marschböden zeigen dagegen sogar 59 % Ertragszunahme für Getreide an. Ein Stagnieren der Ertragsförderung - vielleicht als Folge der überstürzten Mechanisierung, - ist vor allem zwischen 1935/38 und 1950/53 zu erkennen. Die besseren Durchschnittserträge der letzten Jahre dürften z.T. schon durch Meliorationserfolge oder Zurückdrängen des Ackerbaues auf sichere Standorte zu erklären sein.

Eine innerhalb der Marschböden nochmals schärfere Unterteilung in Böden unterschiedlicher Entstehungsweisen, nämlich See-, Brack-, Fluß- und Moormarschen ist in Tabelle 2 erfolgt.

Tabelle 2: Getreideerträge nieders. Marschen

	Seemarsch	Brackmarsch	Flußmarsch	Moormarsch
Ø Erträge dz/ha (letztes Jahrfünft)	41,5	27,3	27,3	27,2
Ertragsmaximum dz/ha	49,6	35,0	39,3	33,3
Ertragsminimum dz/ha	33,4	21,0	14,7	19,5
Diff.d.Ertragsextreme dz/ha	16,2	14,0	24,6	13,8
Diff.d.Ertragsextreme in % vom Ø	39,0	51,3	90,1	50,7

Allein die kalkhaltigen Seemarschen zeigen ein sehr günstiges Bild vom durchschnittlichen Getreideertrag. Auch sind die Unterschiede der Ertragsextreme vergleichsweise gering. Alle übrigen Marschböden haben ein sehr niedriges derz. Ertragspotential. Wenn auch in den Ca-haltigen Elußmarschen beachtliche Höchsterträge erzielbar sind, so werden diese jedoch mit sehr großen Ertragsschwankungen bei derzeitigen Wasserverhältnissen erkauft.

Aus Buchführungsunterlagen geht hervor, daß für den Getreidebau in den Marschen üblicher Boden-, Wasser- und Wegeverhältnisse im Anbau-, Pflege- und Ernteaufwand Kosten zwischen 1.200 - 1.400 DM/ha = 30 - 35 dz/ha Getreide entstehen. Die Höhe dieser Aufwendungen erklärt sich aus den größeren Schwierigkeiten der Bodenbearbeitung, höheren Saatgut- und Düngemittelbedarf, Mehraufwendung für Unkrautbekämpfung in einem graswüchsigen Klimagebiet, Unterhaltungsarbeiten der Grabenentwässerung, Mehraufwand bei der Ernte und höheren sonstigen festen Lasten der sogen. Wasserhypothek. Abgesehen von den Ertragsunsicherheiten dürfte danach nur der Bereich der kalkhaltigen Seemarschen Chancen für einen guten Ackerbau aufweisen, wenn es nicht gelingt, durch grundlegende Meliorationen den Marschboden in seinen entstehungs- und entwicklungsbedingten Eigenschaften sehr zu verändern. Das Klima ist hierfür jedoch mit entscheidend.

Die Ursachen dieses derzeitigen, deutlichen landwirtschaftlichen Notstandes bzw. der Ertragsunsicherheiten auf Marschböden sind recht vielfältig: Zum Teil charakterisieren sie die besondere klimatisch-geographische Lage und geol.-hydrologischen Verhältnisse dieses Raumes, zum anderen Teil sind sie - auf andere schwere Böden wirtschaftlich ebenso einwirkend - durch die Besonderheiten der Marschböden noch verstärkt zur Auswirkung gelangt.

Als die jede Intensität und Produktionsrichtung der Landwirtschaft bestimmenden Standortfaktoren, bleiben Klima und Boden, Verkehrslage, volkswirtschaftliche und technische Entwicklungsfaktoren in ständiger Wechselbeziehung. Hierbei gilt das Streben des wirtschaftenden Menschen, ein Optimum zwischen Aufwand und Ertrag einzuhalten. Von allen Standortsfaktoren wird sich bald die Wirkung des einen, bald die Wirkung des anderen als durchschlagend erweisen, je nach dem Standpunkt der Beobachtung, ob man historisch große oder kleine Zeiträume, geographisch enge oder weite Gebiete zu überschauen versucht (1).

Der Einfluß volkswirtschaftlicher Entwicklung auf die Bodennutzung in der Marsch

Schon recht bald hatte der Mensch früherer Jahrhunderte den landwirtschaftlichen Wert dieser jungen Sedimentböden erkannt. Mit damals höchst unzureichenden technischen Mitteln hatte er deshalb den Kampf gegen das

Wasser zur Gewinnung und Erhaltung der Böden aufgenommen. Da es sich um sekundäre Bodenbildungen handelt, sind Reife und Entwicklung nach der Sedimentation relativ schnell erfolgt. Die hohen bodenbürtigen Nährstoffvorräte der Marschböden waren das Ziel seiner Bemühungen. In Zeiten vor Einführung der Mineraldüngung waren allein hier ständig hohe Erträge zu erzielen. Bei niedrigsten Lohnkosten und vergleichsweise hohen Getreide- und Viehpreisen wurden die reichen Nährstoffvorräte mit viel Handarbeitsaufwand für Entwässerung und Bodenpflege mobilisiert. Produktionstechnische Überlegungen in der Anpassung an die Eigenschaften dieser kolloidreichen Böden im Feuchtklima und bei Grundwassernähe waren in dieser Stufe der landw. Entwicklung jener Gebiete wichtiger als ökonomische Kalkulationen. Durch Erschließen billigerer überseeischer Produktionsgebiete, bei gleichzeitig sich ausdehnender inländischer Erzeugung auf bis dahin als arm geltenden Heideböden, denen Fortschritte der agrikulturchemischen Forschung und landtechnischen Entwicklung vorzugsweise zum Nutzen waren, mußten die Standortserschwernisse der Landwirtschaft in den Marschen relativ stärker hervortreten. Mit zunehmendem Sog der Industrie auf die Arbeitskräfte der Landwirtschaft und folglich in dem Bestreben oder besser Zwang, deshalb auch in den Marschen den Produktionsfaktor Arbeit durch vermehrten Einsatz von Kapital zu ersetzen, konnte sich aber der technische Fortschrift weniger steigernd auf die Roherträge noch senkend auf die Produktionskosten auswirken. Denn hier traten die Eigenschaften der Böden bei vorherrschendem Klima und historisch gewordenen Entwässerungslagen zunehmend erschwerend in Erscheinung. Nutzungsbedingte Struktur- und Profilstörungen als Folgen dieser Entwicklung haben die Dynamik dieser Böden nachhaltig negativ beeinflußt. Der Wechsel in der Bedeutung chemischer und physikalischer Bodeneigenschaften und ihre gegenseitige Beeinflussung machen es deutlich, warum die Vorstellungen über Bodenfruchtbarkeit und Ertragsfähigkeit unter derartigen Umständen nicht konform gehen. Dieses wird durch 2 Verhaltensweisen der diesem Problem gegenüberstehenden Menschen beantwortet:

1. Man versucht sich den zunehmenden Schwierigkeiten der Standortsverhältnisse anzupassen. Bei den klimatischen und bodenkundlichen Besonderheiten der Marschen bedeutet dies eine Beschränkung des in früheren Jahrhunderten allgemein stark ausgedehnten Ackerbaus auf die hinsichtliche Bodenart, Bodenstruktur und Wasserhaushalt noch gut geeigneten Flächenanteile. Das sind die Böden mit einem Ton-Feinsandverhältnis~1,

möglichst kalkhaltig und schon durch die Anlandung weniger grundwassernah als Bodentyp gut und tief entwickelt. Solche optimalen natürlichen Verhältnisse sind nur im Bereich der Seemarschen, in begrenztem Umfange auch in den Flußmarschen zu finden. Bei allgemein geringen Flächenanteilen von Böden mit günstigen natürlichen Verhältnissen führt dieser Weg, bei abnehmendem Ackerbau und zwangsläufig dann zu viel Grünland, zunächst zur Extensität.

2. Sollen weitgehende Standortverbesserungen die Produktionsgrundlagen bei moderner Bewirtschaftung verbessern und sichern helfen. Diese sind in ihrem Erfolg weitgehend an die Entwässerungsfähigkeit der Marschböden gebunden. Damit wird die von wechselnder Entstehung, Entwicklung und Nutzung abhängige Struktureigenschaft "Durchlässigkeit" zum Kernproblem der Marschböden. Die Durchlässigkeit der Marschböden steht dabei weniger in direkter Beziehung zur bodenartlich großen Vielfalt dieser feinerderei-chen Böden, als vielmehr zum Sedimentationsraum und Entwicklungszustand. Gerade auf "schweren" Marschböden können die Meliorationserfolge besonders dann günstig sein, wenn bei Kalkreichtum und viel organischen Substanzen eine gute Durchlässigkeit vorliegt, wo hingegen "leichtere", kalkarme und schluffreiche Marschen eine optimale Entwässerung oft recht problematisch werden lassen. Die nur unter staatl. Mithilfe aufzubringenden hohen Meliorationskosten zwingen dann wiederum zu intensiverer Bodennutzung, wenn möglich bei vermehrtem Ackerbau. Dabei wird der Minutenbodencharakter dieser Böden weitestgehend gemildert, ohne ihn jedoch bei vorherrschend ackerbaufeindlichen Klima mit Regenfaktoren zwischen 80 und 130, aufheben zu können. Bodenmeliorationen sind hier gleichzeitig Kleinklimameliorationen.

Die geologisch-hydrologischen Besonderheiten der Küstenlandschaft

Die aufgezeigte volkswirtschaftliche Entwicklung hat ohne Zweifel auch die übrigen schweren Böden betroffen. Humides Klima und die geologischen Besonderheiten der Küstenlandschaft wirken aber zusätzlich erschwerend in dem Bemühen einer ständigen Anpassung.

Die jahrhundertealten für eine Bodennutzung in den Niederungen unbedingt notwendigen Entwässerungsanlagen sind nicht nur als Folge wirtschaftlicher

Nöte in einem schlechten Unterhaltungszustand, sondern haben aus 3 weiteren Gründen unter Funktionseinbußen zu leiden:

1. Geologische Vorgänge führen zu einer Niveauverschiebung der Küstenlinie
2. Begradigung und Vertiefung begrenzen zusätzlich die Funktionen der Flußunterläufe als Hauptvorfluter der Marschen
3. Fortgeschrittene Entwässerungsmaßnahmen in den oberhalb liegenden Gebieten

Die Diskussion um das Für und Wider der Küstensenkung ist bis heute noch nicht abgeschlossenen (2). Das Nordseeküstengebiet hat in vorausgehenden geol. Zeiträumen Bewegungen der Erdkruste erlebt, die als epirogene Krustenbewegungen auch noch im Quartär anhalten dürften, ist doch die Posthumidität ein bezeichnendes Merkmal der Epirogenese. Die Bedeutung des Meeresspiegels als Bezugsfläche für epirogene Bewegungen ist jedoch äußerst anzuzweifeln. Hierzu wird das durch Eisschmelze eustatisch bedingte Ansteigen des Meeresspiegels gegenübergestellt. Anstieg des Meeresspiegels einerseits und Senkung des Landes andererseits sind nicht die einzigen Vorgänge, die für das Ausmaß der Niveauverschiebungen verantwortlich gemacht werden. Die Gezeiten mit ihren lokalen Veränderungen durch Wandel hydrographischer Bedingungen, sowie Sackungen teilweise recht mächtiger Torf- und Kleischichten unter Einfluß der Schwankungen des Grundwasserspiegels und menschlicher Eingriffe schaffen recht unübersichtliche Bedingungen. Allein die Tatsache, daß in den letzten Jahrhunderten das Niveau der Küstenlinie sich um durchschnittlich 20 cm/Jhrt. verschoben hat, bringt Erschwernisse in den gezeitenabhängigen Entwässerungs- und Entwicklungszustand dieser Böden, die damit immer stärker und länger unter Grundwassereinfluß verharren.

Aus Gründen der modernen Seeschiffahrt werden die Flußunterläufe begradigt und vertieft. Beides bedingt eine erhebliche Vergrößerung des Tidehubs in den Mündungstrichtern mit erheblich kürzeren Sielzugzeiten.

Durch großzügige Entwässerungsmaßnahmen in den Geestrandgebieten strömt nun auch das im geringem Maß dort speicherungsfähige Niederschlagswasser schneller und ungleichmäßiger in die Niederungen. Die ohnehin in einem

mangelhaften Unterhaltungs- und Ausbauzustand befindlichen Entwässerungsgräben müssen dieses Mehr an Wasser aufnehmen und können es nur zögernd den Sielen zuführen. Die Marschgebiete haben - obwohl sie sich dem flüchtigen Betrachter als eine weite Ebene darbieten - Höhenunterschiede, die aus den Gesetzmäßigkeiten der Anlandung erklärlich - erhebliche wasserwirtschaftliche Erschwernisse mit sich bringen. Allein in Niedersachsen liegen 80.000 ha unter NN, z.T. bis zu 30 km weit von der Küste entfernt. Dazu sind küstenferne Anlandungen in der Regel die schwersten und kalkärmsten Bodenbildungen, die hier auftreten können.

Neben der wirtschaftlichen Entwicklung ist eine deutliche Verschlechterung der Entwässerung mitbestimmend dafür, daß diese Böden den Charakter ihrer Schwere jetzt besonders deutlich als Bewirtschaftungserschwernisse zum Tragen bringen. Der schwere, von Ton und Schluff sowie der Lagerungsdichte bestimmte Marschboden wird damit ein schwieriger Boden.

Die Entwicklung der Marschböden

Es hat vor allem in der Vergangenheit nicht an Stimmen gefehlt, die unter dem Eindruck humider Klimaverhältnisse und landw. Bodennutzung eine zunehmende Alterung mit Degradationserscheinungen in Marschböden annahmen (3). In jüngster Zeit hat die Feststellung einer auch primär kalkfreien Entstehung bestimmter Marschböden dieser Lehrmeinung ein wichtiges Argument entzogen. Auch ist das Ausmaß und die Intensität der Entkalkung primär kalkhaltig entstandener Seemarschen früher zu stark betont worden, als dies nach neueren Forschungsergebnissen der Fall zu sein scheint (4). Bei dem relativ geringen Alter dieser jungen Sedimente und ihrem filtergerüstarmen Aufbau ist daher dieser Versauerungsprozeß noch nicht soweit fortgeschritten, daß eine Verlagerung oder gar kolloiddisperse Auflösung der Tonminerale im Boden erfolgen könnten. Wenn heute Profilstörungen, kenntlich am schichtigen Aufbau tonreicher Zwischenlagen als Ergebnis geologischer Vorgänge bei der Anlandung angesehen werden, so darf man doch nicht sich andererseits darüber hinwegtäuschen, daß vor allem der die natürliche Strukturierung dieser Böden vernichtende Ackerbau seinerseits in diesen Böden Strukturprobleme aufwirft, die den ursprünglich gut durchlässigen Boden schwerer, d.h. weniger gut durchlässig werden lassen.

Es verdient eindeutig hervorgehoben zu werden, daß die Bewirtschaftungserschwernisse der Marschböden nicht allein eine Folge der für schwere Böden allgemein durch zunehmend verengtes Aufwands-Ertragsverhältnis gekennzeichneten landwirtschaftlichen Entwicklung sind, sondern gleichzeitig geologische Vorgänge im Küstenraum mit wasserwirtschaftlichen Veränderungen störend in die Entwicklung der jungen Böden eingegriffen haben. Im Tidegebiet ist ohne Deiche und ausreichende Entwässerungsanlagen landwirtschaftliches Kulturland nicht zu erhalten. Der Kulturzustand des Bodens, d.h. die in Ertragshöhe, Ertragssicherheit und Vielfalt der Bodennutzung mobilisierbare Bodenfruchtbarkeit, ist vom Unterhaltungszustand und Ausmaß der Anlagen abhängig und damit äußerst labil. So wird im Entwurf für das Küstenprogramm (5) hervorgehoben", daß die Landwirtschaft in den Marschen im ständigen Kampfe um die Erhaltung, Wiederherstellung und Verbesserung des Kulturzustandes des Bodens steht. Sie befindet sich im ewigen Zustand der Rekultivierung und hebt sich dadurch von anderen Gebieten klar ab".

Nach der Hollandkatastrophe wurden mit großzügiger staatl. Hilfe in Niedersachsen der Küstenplan (6) und in Schleswig-Holstein mit dem Programm Nord (7), durch Küstenschutz- und landeskulturelle Maßnahmen hinter den Deichen gekennzeichnete Vorhaben, begonnen, deren Bedeutung nicht nur durch die Sturmflut vom Februar 1962 aktualisiert, sondern vor allem durch die bislang erzielten Fortschritte unterstrichen wird.

Zu Beginn des Küstenplanes wurde die berechtigte Forderung erhoben, die Bodenforschung in der Marsch zu intensivieren, damit bestehende Unklarheiten über Meliorationsbedürfnis, Meliorationsfähigkeit und Meliorationswürdigkeit durch bessere Kenntnis der hier vorliegenden Böden mit ihren speziellen Eigenschaften beseitigt werden könnten.

Das Ergebnis dieser von nun an intensiven Forschungen war zunächst das Herausstellen einer auf engstem Raume möglichen großen Vielfalt der Marschböden, die Folgen eines Zusammenwirkens von räumlichen Nebeneinander und zeitlichen Nacheinanders bei der Entstehung sind. Je nach Strömungsgeschwindigkeit bei der Entstehung können tonarme, schluffige Feinsande neben schluffigen Tonen benachbart sein oder sich innerhalb eines Profils mehrfach abwechseln. Die z.T. sehr feine Lamellarschichtung der unter Gezeiteneinfluß aus dem Wasser gleichsam herausgewachsenen

Sedimente stellt ein wesentliches Merkmal ungünstiger hydrologischer Verhältnisse in diesen Böden dar. Eine vom Sedimentationsraum bestimmte artenreiche und vielzählige Fauna hilft aber zusammen mit einer sehr rasch nachfolgenden Flora die Entwicklung vom Sediment zum Boden einzuleiten. Da es sich um sekundäre Bodenbildungen handelt, d.h. um Bodenkomponenten, die schon andererorts Verwitterung und Bodenbildung unterlagen, ist bei Beseitigung des Grundwassereinflusses mit einer schnellen Bodenentwicklung zu rechnen. Mineralogisch dürften Einflüsse des geologischen Einzugsgebietes der Flüsse deshalb nicht zu unterschätzen sein. Vorbedingung für das Ausmaß und Möglichkeit einer Reifung mit günstiger Primär- und Sekundärstruktur ist das Vorhandensein genügender Kalkvorräte bei Sedimentation. Danach sind nur im Sedimentationsraum des Seewassers und z.T. auch der Flußwässer günstige Vorbedingungen geschaffen. Erst kürzlich ist der interessante Nachweis über den von der belg.-niederländ. bis zur jütländischen Küste fallende Gehalt an $CaCO_3$ mariner Sedimente geführt worden (8). Zusammen mit den in gleicher Weise abgestuften Strömungsverhältnissen und klimatischen Faktoren dürfte damit ein Hinweis auf doch recht beachtliche Unterschiede im sedimentär vorgegebenen Nutzwert und Meliorationsfähigkeit niederländ. und deutscher Marschen gegeben sein. Für den deutschen Nordseeküstenraum dürfte feststehen, daß durch das Vorherrschen brackischen Milieus weiter Sedimentationsräume große Flächenanteile primär durch ein niedriges Sedimentvolumen, hohe Lagerungsdichte und demzufolge schlechter Primärstruktur sowie Kalkmangel gekennzeichnete Sedimente entstanden sind, deren Reifung und Bodenbildung bei Grundwassernähe und Niederschlagsreichtum stark gehemmt ist. Die Nutzungsschwierigkeiten dieser ungünstig strukturierten Böden sind damit nicht als eine Degradationserscheinung infolge Alterung sondern als eine Entwicklungshemmung infolge sedimentär vorgezeichneter Eigenschaften erklärt. Dabei wird die Schwere dieser Böden weniger durch ihren absoluten Tonanteil als dessen durch ungünstige Kationensorptionsverhältnisse bedingten Dispersionsgrad erklärt, der bei wechselnder Bodenfeuchte durch Quellung und Schrumpfung im krassen Wechsel ähnlich dem Solonetz bodendynamisch ungünstige Voraussetzungen schafft. Eine echte, früher stärker betonte Alterung ist daneben nur im Bereich der primär kalkreichen und gröber texturierten Seemarschen am Verlust des freien Kalziumkarbonates zu erkennen. Wenn dieser Prozeß auch noch nicht zu einer Verarmung an Ca^{++} an der Sorptionsoberfläche geführt hat, so ist dieser Vorgang bei gleichzeitigem Humusschwund besonders bei schluffreichen Böden deutlich an mangelhafter Strukturstabilität zu erkennen. Bei Anhalten

dieses Vorganges dürften solche Böden ähnlichen Entwicklungen wie Parabraunerden auf Löß entgegengehen. Die besonders grundwassernah gebildeten oder nunmehr vorhandenen Ca-reichen Flußmarschen dagegen, sind in der Entwicklungsrichtung zum braunen Auenboden genetisch durch Gleibildung aufgehalten. Ein selbst unter Grundwassereinfluß heute oftmals noch feststellbares stabiles Bröckelgefüge in diesen Böden, deutet eine vordem unter besseren Grundwasserverhältnissen schon fortgeschrittenere Bodenentwicklung an.

Vorstehende Vorstellungen über die durch hydrographische Eigenarten bei der Sedimentation, Einfluß des Sedimentationsraumes auf den Kationenbelag der Bodenkolloide mit daraus abzuleitenden chemischen, physikalischen und biologischen Eigenschaften m.o.w. entwickelter Böden bei wechselnd hohem Grundwasserstand rechtfertigen die Herausstellung der Marschböden als selbständige Bodenklasse neben den in manchen Eigenschaften ähnlichen und verwandten Auenböden - Gleyen und Pseudogleyen (9).

Die Bodeneigenschaften bestimmen die Meliorationsfähigkeit

Diese geologisch-bodenkundliche Gliederung der Marschen bildet nun auch Ansatzpunkte für eine unter derzeitigen und zukünftigen Standortsverhältnissen anzustrebende optimale, d.h. standortsgerechte Nutzung dieser recht vielfältigen Böden, und zwar mit oder ohne spezielle Meliorationsmaßnahmen. In der Regel sind es Eingriffe in den Bodenwasserhaushalt, die unter Förderung der bislang gehemmten Bodenentwicklung nunmehr die den Böden innewohnenden Kräfte freisetzten. Bei geringeren Düngermengen, erleichteter Bodenpflege und möglicher vielseitiger und intensiver Nutzung werden auf dadurch tiefgründigeren Böden unter Steigen der Erträge bei sich erweiternden Aufwands-Ertragsverhältnis sichere Ernten erzielt (21). Wenn auch allgemein ein großes Meliorationsbedürfnis dieser ganzen Landschaft (10) vorliegt, so sind hinsichtlich Meliorationsfähigkeit graduelle Unterschiede zu machen (11). Eine Gliederung der Marschböden nach ihrer bodentypologisch innerhalb eines Profiles stark wechselnden Durchlässigkeit läßt recht gute Übereinstimmungen zu bodenchemischen Eigenschaften wie z.B. Sorptionsverhältnisse erkennen, nicht aber zur hier ebenfalls stark wechselnden Bodentextur. Der schwere, d.h. tonreichere Marschboden ist häufig bei größerer Durchlässigkeit wesentlich besser meliorationsfähig als der sogen., leichte schluffig-

feinsandige Boden, Wesentliche Reaktionen des Marschbodens auf Entwässerung und Strukturbildung sind in der Art der hier vorzugsweise vorliegenden Tonminerale zu suchen. Sorptionskapazitäten zwischen 30 - 70 mval/100 g Ton, sowie differentialthermoanalytische, röntgenanalytische und mikroskopische Untersuchungen haben das Vorherrschen illitischer Minerale bestätigt (12), die neben ihren Eigenschaften auf die Mineralstoffverfügbarkeit vor allem als besonders quell- und schrumpfungsfähige Tonminerale günstige Reaktionen der Strukturbildung nach Entwässerung dieser Böden anzeigen und eine ausgesprochen starke Strukturdynamik hervorrufen wie sie in vergleichbaren schweren, aber wesentlich älteren Verwitterungsböden fehlen. Gerade schwere, dicht lagernde Marschböden neigen deshalb nach Entwässerung zu einer Aggregatgefügebildung, die - von Pflanzenwurzeln unterstützt - in ständiger Wiederholung allmählich zu einer immer besseren Strukturierung solcher vordem im gequollenen Zustand absolut wasserundurchlässigen Böden führt. Die günstigen Ertragsbildungen auf Marschböden nach vorausgegangenen Trockenjahren sollten hierfür ein nicht zu unterschätzender natürlicher Hinweis sein. Man darf daher nicht soweit gehen, grundsätzlich Knickmarschböden als weder meliorationsfähig noch meliorationswürdig zu erklären. Tiefenlage und Mächtigkeit solcher sedimentär entstandenen Profilstörungen bestimmen zusammen mit den übrigen hydrologischen Eigenschaften der anderen Profilschichten die zweckmäßige Bodenverbesserung (3). Dabei begrenzen Bodenart, insbesondere das T/F-Verhältnis und Porenraumgliederung die zukünftigen Nutzungsmöglichkeiten als Acker und /oder Grünlandstandort.

Die Dränung steht in diesem Zusammenhang 1955 bei Beginn des Küstenplanes mit ausgewiesenen 162.000 ha dränbedürftiger Marschböden und bis 1962 davon ca. 15 % bereits ausgeführten Dränungen an der Spitze aller Bodenverbesserungensmaßnahmen (5) x). Während vor noch wenigen Jahren selbst in Fachkreisen die Dränfähigkeit der Marschböden generell bezweifelt wurde, können heute in methodisch klarer Abgrenzung nicht dränbedürftige - dränfähige und nicht dränfähige Marschböden abgegrenzt werden, wobei die mittlere Gruppe mit zudem relativ weiteren Saugerabständen als vordem üblich den größten Teil einnimmt (14).

---

x) Lt. frdl. Mitteilung des Herrn Beauftragten des Bundes u. der Länder für den Küstenplan Reg.Dir. v. Seebach

Von mancher Seite wird in Anlehnung an niederländische Erfahrungen (15) zusätzlich zur Entwässerung die Profilumgestaltung durch Aufpflügen kalkhaltigen, texturell besseren Unterbodenmaterials unter bindigeren, kalkarmen Oberböden empfohlen (16). Dieses technisch wohl durchführbare, kostenmäßig aber eine Melioration verteuernde Verfahren hat in unseren Marschengebieten bisher gegenüber einer vergleichbaren Kalkdüngung meist nur Mindererträge geliefert (17). Offenbar wird durch dieses Vorgehen die wertvolle natürliche Strukturierung solcher Böden und ein Neuaufbau der Bodenstruktur nur zögernd ermöglicht (22).

Die einen ähnlichen Zweck verfolgende maschinelle Blausandmelioration - nämlich Anreichern und Magern der Krume mit kalkhaltigem Sand aus dem Untergrund - hat sich jedoch in jahrzehntelanger Anwendung bei langjähriger Wirkung so bewährt, daß es heute nur noch wenige Flächen gibt, die von dieser Möglichkeit nicht schon längst Gebrauch gemacht hätten (18). Von 1.700 ha 1955 als wühlfähig bezeichneten Marschböden sind bis 1962 immerhin bereits 43 % maschinell gekühlt worden.[x)]

Will man den doppelten Effekt einer Dränung der Marschböden erfüllen, nämlich Abfangen schädlicher Grundwasserschwankungen aus dem unmittelbaren Wurzelhorizont und Ableiten überschüssiger, nicht speicherungsfähiger Niederschläge, muß eine stabile Struktur der Bodenoberfläche stets aufnahmebereit für Sickerwässer sein. Mit 162.000 ha der Gesundungskalkung dringend harrender Marschböden, die dabei auf ca. 1 % kohlens. Kalk aufgekalkt werden sollen (19), ist die gleichrangige Bedeutung dieser Meliorationsmaßnahme unterstrichen. Leider sind für die hohen Transportvolumen die gebietsweise vorherrschenden Wegeverhältnisse nicht ausreichend. Erst 5 % der kalkbedürftigen Flächen sind deshalb bisher versorgt [x)]. Mit geringerem Transportvolumen behaftet und spezifisch bei schluffreichen Böden lockernd wirkend, haben sich größere Mengen an Phosphatdüngemitteln bewährt (11). Hier dürfte mehr eine indirekte bodenbiologische Nebenwirkung über den damit verbesserten Humushaushalt vorliegen. Alle Böden, die sich auf vorgezeigte Weise chemisch und mechanisch nicht im Oberboden verbessern lassen, sind als absolute Dauergrünlandstandorte über die Humusanreicherungen strukturell zu verbessern. Im Wechsel mit mehrjährigen Feldfutterbau eröffnen sich selbst unter schwierigeren Bodenverhältnissen beachtliche Chancen für den Ackerbau (20).

---

x) Siehe Fußnote Seite 336

Zusammenfassung und Ausblick

Ca. 5 % der LN der BR sind Marschböden. Der Wert dieser Böden ist im Verlauf ihrer landwirtschaftlichen Nutzung durch die allgemeine wirtschaftliche Entwicklung, geologisch-hydrologischer Vorgänge im Küstengebiet und meliorativer Möglichkeiten einem ständigen Wandel unterworfen. Die Entstehung und Entwicklung dieser Marschböden weist gegenüber anderen schweren Böden manche Besonderheiten auf. Als entwicklungsgehemmte, junge Böden beantworten diese ihren Eigenarten entsprechend angesetzte Bodenverbesserungsmaßnahmen durch eine ausgesprochene Entwicklungsfreudigkeit. Unter solchen durch den Standortfaktor Mensch induzierten Bodenentwicklung ist mit einer durchschnittlich 20 - 30 %igen Anhebung des Ertragspotentials bei nunmehr geringeren Schwankungen der Erträge und vor allem einer den Bodeneigenarten immer wieder anzupassenden standortgerechten Bodennutzung zu rechnen. Bestand bis vor wenigen Jahren die vorherrschende Meinung einer unausbleiblich rel. schnellen Alterung der Marschböden mit zunehmenden Nutzungserschwernissen, so haben die intensiven Forschungen der letzten Jahre die sedimentär vorgezeichneten Eigenschaften dieser Böden über eine degenerative Bodenentwicklung gesetzt. Die heute im Zeichen einer umwälzenden landwirtschaftlichen Entwicklung zwingend notwendig gewordenen Meliorationen haben dank des hier großen technischen Fortschrittes zum Ergebnis, daß es nunmehr möglich wird, die hemmenden Faktoren der Bodenentwicklung aufzuheben und den eigentlichen, durch die Wasserverhältnisse gestörten Bodenbildungsprozeß fortsetzen zu lassen. Geologie, Hydrologie und Klima dieses Raumes werden immer wieder solche unterstützenden Maßnahmen am Boden notwendig machen. Die großen bisherigen Meliorationserfolge beim Mobilisieren solange verdeckter bodenbürtiger Kräfte rechtfertigen solche hohen Aufwendungen in der Marsch. Der Marschboden wird nur dadurch als schwerer Boden seine derzeitigen Schwierigkeiten verlieren. Für die Bodenkunde ist hier ein noch weites Forschungsgebiet offen, um die Förderung dieser Böden in Zukunft noch mehr den auf sie zukommenden Bewirtschaftungsanforderungen anzupassen. In gegenseitiger Ausrichtung landbauökonomischer und landbautechnischer Disziplinen sowie wasserbautechnischer Probleme erhält die Bodenkunde hier eine zentrale Bedeutung. Es bedarf wohl keines besseren Beweises der Anerkennung der Bodenkunde als selbständige Fachwissenschaft.

Literatur

1. Lang, E., Die gestaltenden Kräfte des landwirtschaftlichen Betriebes - in: Handbuch d.Landwirtschaft 2. Aufl.Bd.V, Paul Parey-Verlag Berlin u.Hamburg 1954 S.138 ff

2. Zeitschrift "Die Küste" 8, 1960, div. Beiträge über Küstensenkung

3. Schucht, F., Über das Vorkommen von Bleicherde und Ortstein in den Schlickböden der Nordseemarschen Int.Mitt.f.Bodenkunde 3, 40, 1913

4. Edelmann, G.H., Soils of the Netherlands N. Holland publ. comp. Amsterdam 1950

5. Entwurf eines Küstenprogramms als 10 Jahres Meliorationsplanes, aufgestellt von den Landw.Kammern Oldenburg und Hannover 1954

6. Wiedemann, W., Der niedersächsische Küstenplan Zif. innere Kolonisation, Heft 9, 1957

7. Bielfeldt, Ch., Charakter und Nutzen des Landeskulturwerkes Programm Nord - Vervielf.Manuskript, Bibliothek Inst.f.Weltwirtschaft Kiel 1957

8. Verhoeven, A., On the Calciumcarbonate content of young marine sediments - Veemann u.Zonen, Wageningen 1963

9. Müller, W., Grundsätzliche Betrachtungen zur systematischen Gliederung der Marschböden Geol.Jb.76, 11, 1958

10. Sommerkamp, G., Landwirtschaftliche Probleme in den Marschgebieten - Agrarwirtschaft 5, 1956

11. Kuntze, H., Entstehung, Eigenschaften, Nutzungs- und Verbesserungsmöglichkeiten von Marschböden Die Phosphorsäure 20, 250, 1960

12. Schachtschabel, P. u. Mitarbeiter, Chemische Untersuchungen an Marschen
Z.Pflanzenern.Düng.Bodenkunde 83, 103, 1958
" " " " 89, 148, 1960

13. Kuntze, H., u. Neuhaus, H., Bodenphysikalische Untersuchungen zur Frage der leistungsbehindernden Eigenschaften von Marschböden - Z.Landw.Forschung 15, 206, 1962

14. Kuntze, H. u. Binsack, R., Kritische Betrachtungen zu den heute anwendbaren Methoden der Dränabstandsberechnung bei Marschböden
Praxis u. Forschung 11, Nr. 5, 1959

15. Douwes, B., Diepploegen in de Groninger klei
Tijdschr.der N.H.M. 63, (9), 229-235, 1962

16. Nieders.Landesamt f. Bodenforschung, Beihefte zu geol.-bodenkundl. Karten der Niedersächsischen Marschen 1 : 5000 Hannover,ab 1956

17. NN. Versuchungsbericht 1958/60 der Landbauabteilung der Landw.Kammer Weser-Ems, Oldenburg 1961, S. 123 ff.

18. Scheffer, F., Die Bedeutung der Blausandmelioration in den Nordseemarschen - Landw.Jb. 85, 891, 1938

19. Nieschlag,F., Probleme der Bodenfruchtbarkeit der nordwestdeutschen Landwirtschaft
Landw.Forschung, Sonderheft 9, 32, 1956

20. Galensa, F.u. Kuntze, H., Biologische Entwässerung und Strukturverbesserung durch Untersaaten,Wasser u. Nahrung Heft 1, 46, 1960

21. v. Hoorn, H.W., Results of a ground water level experimental field with arable crops on clay soils
Neth.J.Agric. Sci. 6, 1-11, 1958

22. Husemann, C., Die Standortuntersuchungen und ihre Auswertung unter besonderer Berücksichtigung der meliorationsbedürftigen Marsch
Der Kulturtechniker 47, 1, 1959

Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft Bd. 1 S. 341-350, 1963

DIE BEWERTUNG DER SCHWEREN BÖDEN DURCH DIE FINANZVERWALTUNG

von W. Taschenmacher

1. Die gesetzlichen Grundlagen

Über die Bewertung der natürlichen Ertragsbedingungen der Landwirtschaft, insbesondere der schweren Böden, nach dem Gesetz über die Schätzung des Kulturbodens vom 16. Oktober 1934 ist in dem Referat von F. Wacker ausführlich berichtet worden. Die Bodenschätzung ist eine reine Flächenbonitierung ohne Rücksicht auf die eigentumsmässige und wirtschaftliche Zugehörigkeit der einzelnen Parzellen zu den landwirtschaftlichen Betrieben. Daher sind die unmittelbaren Ergebnisse der Bodenschätzung für steuerliche Zwecke zunächst noch nicht brauchbar; sie müssen erst nach der Zusammengehörigkeit der geschätzten Flächen zu wirtschaftlichen Einheiten zusammengefaßt werden. Diese wirtschaftlichen Einheiten sind die landwirtschaftlichen Betriebe. Die Übernahme der Bodenschätzungsergebnisse aus den Schätzungskarten in das Liegenschaftskataster und die Zusammenstellung der Ergebnisse für die einzelnen landwirtschaftlichen Betriebe sind langwierige Arbeitsvorgänge.

Von vornherein hat der Gesetzgeber daran gedacht, daß die Wertverhältnisse der Böden sich im Laufe der Zeit ändern könnten. Er hat daher in § 13 des Bodenschätzungsgesetzes eine regelmäßige Überprüfung der Ertragsverhältnisse der verschiedenen Böden angeordnet, aber nicht festgelegt, in welcher Weise geänderten Ertrags- und Wertverhältnissen Rechnung getragen werden soll. Die Finanzverwaltung hat es daher in der Hand, denjenigen Weg zu gehen, der am schnellsten zu dem Ziel führt, bei der nächsten Hauptfeststellung der Einheitswerte veränderte Wertverhältnisse zu berücksichtigen. Eine Möglichkeit hierzu bietet die enge Verbindung des Bodenschätzungsgesetzes mit dem im Entstehen begriffenen neuen Bewertungsgesetz.

Am 12. Juni 1963 hat das Bundeskabinett beschlossen, den gesetzgebenden Körperschaften den Entwurf eines Bewertungsänderungsgesetzes vorzulegen. Diese Regierungsvorlage hat schon am 12. Juli 1963 den Bundesrat passiert und soll nach der parlamentarischen Sommerpause dem Bundestag zugeleitet werden. Der Entwurf sieht eine neue Hauptfeststellung der Einheitswerte erstmals auf den 1. Januar 1964 vor und dann regelmäßig weitere Hauptfeststellungen im Abstand von 6 Jahren. Dieser Hauptfeststellungszeitraum kann unter gewissen Umständen verkürzt oder verlängert werden. Von besonderer Bedeutung aber ist die Bestimmung, daß für die Beurteilung der natürlichen Ertragsbedingungen (der landwirtschaftlichen Betriebe) von den Ergebnissen der Bodenschätzung auszugehen ist. Das gilt auch für das Bodenartenverhältnis. Durch diese beiden Bestimmungen erhält das Bodenschätzungsgesetz, soweit es für steuerliche Zwecke herangezogen werden soll, den Charakter eines Hilfsgesetzes für das Bewertungsgesetz. Wichtig ist für die Bewertung der schweren Böden die Formulierung, daß von den Ergebnissen der Bodenschätzung auszugehen ist. Das ist die gesetzliche Grundlage für die Anpassung der Ergebnisse der Bodenschätzung an veränderte Ertrags- und Wertverhältnisse bei einer Hauptfestellung der Einheitswerte.

Die schweren Böden beeinflussen weitgehend die wirtschaftliche Gestaltung des landwirtschaftlichen Betriebs. Bei der Ermittlung der Bodenzahlen des Schätzungsrahmens wurde unterstellt, daß die ganze Bodenfläche des Betriebs einheitlich der gleichen Bodenklasse angehört. In Wirklichkeit kommen solche Verhältnisse aber selten vor; die Regel ist vielmehr, daß die Nutzfläche der landwirtschaftlichen Betriebe sich aus unterschiedlichen Böden zusammensetzt. Bei der Bewertung der schweren Böden eines landwirtschaftlichen Betriebs ist nicht nur deren Ertragsfähigkeit an sich maßgebend, sondern auch der Anteil, mit dem sie vor allem an der Ackerfläche des Betriebs beteiligt sind. Kleinere Anteile bereiten geringere Schwierigkeiten als größere, sind oftmals sogar für den Futterbau erwünscht. Es spielt demnach das Bodenartenverhältnis, das, wie schon gesagt, ebenfalls nach den Feststellungen der Bodenschätzung bei der Betriebsbewertung zugrunde gelegt werden soll, gerade bei den schweren Böden eine besondere Rolle. Außerdem wird auch ein etwa vorhandener starker Bodenwechsel zu berücksichtigen sein, denn es ist für die Reinertragsfähigkeit des Betriebs nicht gleichgültig, ob ein Anteil an schweren Böden in einer zusammenhängenden Fläche vorhanden ist oder im Gemenge mit anderen Bodenarten.

Das Bewertungsgesetz enthält aber noch weitere Vorschriften, die für die Bewertung der schweren Böden von Bedeutung sind. Sie sind bei den Bestimmungen über die Bewertung der wirtschaftlichen Ertragsbedingungen und Umstände zu finden. Die schweren Böden können sich im landwirtschaftlichen Betrieb auswirken auf

die Wegeverhältnisse (innere Verkehrslage)
das Kulturartenverhältnis
die Betriebsorganisation
die Technisierung.

Nach den Vorschriften des Bewertungsgesetzes sind diese wirtschaftlichen Auswirkungen auf die Reinertragsfähigkeit des Betriebs zu erfassen. Wenn also die Bewertung der schweren Böden dargestellt werden soll, so genügt es nicht, die Ergebnisse der Bodenschätzung und ihre Anpassung an veränderte Reinertragsverhältnisse zu behandeln, sondern es muß auch noch die Bewertung der wirtschaftlichen Auswirkungen der schweren Böden auf den landwirtschaftlichen Betrieb berücksichtigt werden. Erst dann ist die Bewertung der schweren Böden im Verhältnis zu anderen klar zu erkennen.

2. Die Bewertung der schweren Böden

Als schwere Böden sind bei der Bodenschätzung tonige Lehmböden (LT) mit Anteilen von etwa 45 bis 60 v.H. und Tonböden (T) mit Anteilen von über 60 v.H. toniger Bestandteile festgestellt worden. Mit "tonigen Bestandteilen" sind hier die Korngrößen unter 0,01 mm gemeint. Die angegebenen Anteile an tonigen Bestandteilen geben nur Anhaltspunkte für die Abgrenzung der schweren Böden. Da letztere sowohl als Acker- wie auch als Grünlandböden genutzt werden, sind sie sowohl im Ackerschätzungsrahmen wie auch im Grünlandschätzungsrahmen vertreten. Die mittleren Bodenzahlen liegen nach dem Ackerschätzungsrahmen für LT-Böden rein rechnerisch bei 54, für T-Böden bei 44. Im Grünlandschätzungsrahmen sind die schweren Böden - da die Bodenartendifferenzierung hier von geringerer Bedeutung ist - zu einer einzigen Position zusammengefaßt; die mittlere Grünlandgrundzahl für die schweren Böden liegt etwa bei 50. Nach dem tatsächlichen Vorkommen würden die Durchschnittszahlen wohl erheblich niedriger liegen, da den Flächen schwerer Marschböden, die über die genannten

arithmetischen Mittelwerte hinauskommen, größere Flächen binnenländischer schwerer Böden gegenüberstehen dürften, die erheblich unter diesen Werten liegen. Zudem werden die meisten schweren Böden, da sie unter Klimaverhältnissen vorkommen, die ihrer Ertragsleistung abträglich sind, durch die Berücksichtigung dieser Tatsache zu niedrigen Acker- bzw. Grünlandzahlen gelangen. Nichtsdestoweniger werden diese bei der Bodenschätzung für die schweren Böden festgestellten Acker- und Grünlandzahlen infolge der in den letzten Jahrzehnten eingetretenen Verschiebungen der Ertrags- und Aufwendungsverhältnisse heute als zu hoch angesehen, und zwar in erster Linie die Ackerzahlen. Darum hat die Finanzverwaltung eine weitere Reduktion der Werte der schweren Böden, besonders der Ackerböden vorgesehen. Nach dem gegenwärtigen Stande der vorbereitenden Arbeiten zur nächsten Hauptfeststellung der Einheitswerte sind folgende Abrechnungen in Aussicht genommen:

a) Bodenverhältnis

Das Vorkommen schwerer Böden auf dem Ackerland eines landwirtschaftlichen Betriebs bewirkt je nach ihrem Anteil an der Ackerfläche und nach der Größe des Betriebs Minderungen der Reinertragsfähigkeit. Ist der Anteil schwerer Böden sehr gering, etwa unter 10 v.H. der Ackerfläche, so wird das die Reinertragsfähigkeit des Betriebs kaum beeinträchtigen; häufig kann ein geringer Anteil sogar mit Vorteil zum Feldfutterbau benutzt werden. Aber mit steigenden Anteilen drückt der höhere Aufwand der schweren Böden in zunehmendem Maße den Reinertrag des Betriebs, dies umso mehr, je kleiner der Betrieb ist; denn der kleinere Betrieb muß stärkere Zugkräfte einsetzen als seiner Größe angemessen ist. Die in Aussicht genommenen Abrechnungen sind dementsprechend nach steigenden Anteilen des schweren Bodens an der Ackerfläche und nach der Betriebsgröße gestaffelt; sie beginnen mit wenigen Prozenten und können beim Zusammentreffen extrem ungünstiger Verhältnisse etwa 45 v.H. der bei der Bodenschätzung festgestellten Ertragszahlen (Ackerzahlen) erreichen. Zu diesen extrem ungünstigen Verhältnissen gehören dann nicht nur eine Betriebsgröße von weniger als 5 ha und eine Ackerfläche, die vollständig aus Tonboden besteht, sondern auch ein für die Ertragsleistung des schweren Bodens ungünstiges Klima, das entweder zu naß und zu kalt oder zu trocken ist. Außerdem muß es sich um Tonböden mit ungünstiger Profilausbildung handeln, die bei der Bodenschätzung in die Zustandsstufen 5 bis 7 eingereiht sind.

Außer diesen die Abrechnungen steigernden ungünstigen Faktoren werden aber auch solche berücksichtigt, die sie abschwächen. Abschwächend wirkt es, wenn der schwere Boden nicht aus Tonboden, sondern aus tonigem Lehm besteht; das mindert die Abrechnungen in der Regel um ein Drittel gegenüber den unter gleichen Verhältnissen für den Tonboden vorgesehenen. Auch die Luzernefähigkeit des schweren Bodens, die häufig dort gegeben ist, wo diese Böden aus kalkhaltigen Muttergesteinen entstanden sind, mildert die Abrechnungen um ein Drittel der sonst in Betracht kommenden.

Im ganzen gesehen handelt es sich hier also nicht um eine grobschematische Reduktion der bei der Bodenschätzung festgestellten Ackerzahlen der schweren Böden, sondern um eine Bemessung der notwendigen Abrechnungen, die in schon fast perfektionistischer Weise die je nach den gegebenen Umständen sehr unterschiedlichen Einwirkungen der schweren Böden auf die Reinertragsfähigkeit der landwirtschaftlichen Betriebe berücksichtigt. Das hier geschilderte Verfahren bricht auch nicht plötzlich an der Grenze der tonigen Lehmböden ab, sondern schafft einen Übergang zu der Gruppe der Lehmböden, indem es die besonderes schwer bearbeitbaren unter ihnen, die in der Regel bei den Zustandsstufen 5 bis 7 anzutreffen sind, mit einbezieht.

b) Bodenwechsel

Schon bei der Bodenschätzung sind die durch starken Wechsel der Böden innerhalb einer Klassenfläche (Verschießen) bedingten Wertminderungen festgestellt worden. Bei der Betriebsbewertung ist aber noch zu berücksichtigen, daß innerhalb eines Flurstückes Klassenflächen mit sehr unterschiedlichen Bodenarten auftreten können, die aber aus betriebswirtschaftlichen Gründen gleichmäßig bewirtschaftet werden müssen. Auch für diesen Umstand sind Abrechnungen gerechtfertigt, deren Höhe sich nach der Reinertragsminderung richtet, die dadurch entsteht, daß die verschiedenen Böden nicht entsprechend ihrer besonderen Eignung genutzt werden können. Außerdem richtet sich die Höhe dieser Abrechnungen naturgemäß nach dem Anteil dieser Flächen am gesamten Ackerland des Betriebs. Es sind Abrechnungen bis zu 5 v.H. der Ertragsmeßzahlen des Ackerlandes vorgesehen. Wo der Bodenwechsel durch

schwere Böden bedingt wird, sind die hierfür angesetzten Abrechnungen bei der Beurteilung der Bewertung der schweren Böden den übrigen Abrechnungen hinzuzurechnen. In der Praxis der Bewertung der schweren Böden spielen die gelegentlich durch Bodenwechsel hervorgerufenen Abrechnungen aber keine große Rolle.

c) Wegeverhältnisse

Bei der Bewertung der inneren Verkehrslage des landwirtschaftlichen Betriebs werden die Wege zu den einzelnen Trennstücken zunächst auf einen mittleren Ackerlandweg umgerechnet. Landwege von mittlerer Qualität erhalten daher den Umrechnungsfaktor 1. Führt der Landweg über schwere Böden, die dem Befahren namentlich in nassem, aber auch in stark ausgetrocknetem Zustand Schwierigkeiten bereiten, so werden diese Wege bei der Umrechnung in Ackerlandweg mit dem Faktor 1,5 angesetzt. Das führt zu einer weiteren Reduktion des Wertes der schweren Böden.

d) Kulturartenverhältnis

Den Wertzahlen der Schätzungsrahmen für Ackerland und für Grünland werden bezüglich des Anteils der Kulturarten Acker und Grünland an der landwirtschaftlichen Nutzfläche und seines Einflusses auf die Ertragsfähigkeit mittlere Verhältnisse - etwa 15 bis 35 v.H. der landwirtschaftlichen Nutzfläche als Grünland unterstellt. Höhere Grünlandanteile bewirken in der Regel nachhaltige Minderungen der Ertragsfähigkeit, die durch Abrechnungen zu berücksichtigen sind. Diese Abrechnungen beziehen sich auf die Ertragsmeßzahlen der gesamten landwirtschaftlichen Nutzfläche und erreichen 18 v.H. bei einem Grünlandanteil von über 80 v.H. Häufig werden aber durch schwere Böden in einer Gegend starke Grünlandanteile verursacht. Dann ist die Abrechnung für das Kulturartenverhältnis im Grunde genommen mindestens zum Teil durch die schweren Böden verursacht und teilweise einer Abrechnung für schwere Böden gleichzusetzen.

e) Betriebsorganisation

Die Betriebsorganisation wird bereits stark vom Kulturartenverhältnis bestimmt. Darüber hinaus greifen aber die schweren Böden über das Anbau-

verhältnis in die Betriebsorganisation ein. Hierbei dürfte sich besonders die Erschwerung des Anbaues von Verkaufshackfrüchten nach den gegenwärtigen Preisverhältnissen ertragsmindernd auswirken. Es wird daher in Aussicht genommen, die Erschwerung des Anbaues von Verkaufshackfrüchten durch besondere Abreichnungen zu berücksichtigen, die dann indirekt einer weiteren Reduktion der Werte des schweren Bodens gleichkommen.

f) Technisierung

Die Entwicklung der Landwirtschaft wird in zunehmendem Maße von der Maschinenanwendung bestimmt. Diese soll nicht nur die ständige Abnahme der für die Landwirtschaft verfügbaren menschlichen Arbeitskräfte ausgleichen und tierische Zugkräfte ersetzen, sondern auch kostensparend wirken und die Ertragsfähigkeit verbessern. Soweit diese Ziele wegen der Ungunst der natürlichen Ertragsverhältnisse, zum Beispiel wegen schwierig zu bearbeitender schwerer Böden nicht erreicht werden können, sind Abrechnungen von den Ertragsmeßzahlen der landwirtschaftlichen Nutzfläche vorzunehmen, die in extremen Fällen 15 v.H. erreichen.

Grundsätzlich ist noch anzumerken, daß die durch die schweren Böden verursachten betriebswirtschaftlichen Auswirkungen bei der inneren Verkehrslage, dem Kulturartenverhältnis, der Betriebsorganisation, der Technisierung durch Abrechnungen berücksichtigt werden, die - wie im einzelnen bereits festgestellt wurde - sich auf die Ertragsmeßzahlen der gesamten landwirtschaftlichen Nutzfläche beziehen. Will man aber feststellen, in welchem Maße diese Abrechnungen als Korrektur der bei der Bodenschätzung für die schweren Böden ermittelten Ertragsmeßzahlen wirken, so muß man sie auf deren Flächenanteile im landwirtschaftlichen Betrieb umrechnen. Da die schweren Böden nicht immer die ganze Fläche des Betriebs einnehmen, erhöhen sich die Abrechnungen, wenn sie auf die tatsächlich gegebene Fläche der schweren Böden bezogen werden.

Die unterschiedliche Auswirkung aller im einzelnen Falle in Betracht kommenden Abrechnungen soll nunmehr an drei Beispielen gezeigt werden.

Beispiele für die Bewertung der schweren Böden in landwirtschaftlichen Betrieben

Betrieb im Finanamtsbezirk:		Uffenheim	Peine	Emden
Bodennutzungssystem		Hg II	Hg II	GF
Landwirtschaftliche Nutzfläche		9,5 ha	30 ha	62 ha
Verhältnis Acker zu Grünland		91 : 9	80 : 20	52 : 48
Anteil der schweren Böden an der Ackerfläche	LT	55 %	33 %	100 %
	T	45 %	22 %	-
		100 %	55 %	100 %
Bodenklassen		LT 4, 5, 6 V [1] T 3 (Al) V T 5, 6 (D) V	LT 3, 4, 5 D [2] T 3, 4 D	LT 4, 5 Al [3]
Bodenzahlen nach dem Ackerschätzungsrahmen	LT-Böden	56 → 36	64 → 48	64 → 54
	T-Böden	58 → 35	56, 52	
durchschnittliche Ackerzahl der schweren Böden		44	57	54

1) Böden des Lettenkohlenkeuper mit Übergängen in den unteren Gipskeuper, z.T. luzernefähig; in den Niederungen teilweise alluviale Überlagerungen.

2) Diluvialer Ton über unterer Kreide, fast zur Hälfte luzernefähig.

3) Alte Marsch.

Fortsetzung der Tabelle von Seite 348

	Uffenheim	Peine	Emden
Abrechnungen, umgerechnet auf die Fläche der schweren Ackerböden für:			
a) Anteil an schweren Böden	18 %	9 %	8 %
b) Bodenwechsel durch schwere Böden	-	2 %	-
c) tonige Feldwege	unwesentlich	unwesentlich	3 %
d) Kulturartenverhältnis	-	-	-
e) Betriebsorganisation	-	-	4 %
f) Schwierigkeiten der Technisierung	11 %	11 %	10 %
Summe der Abrechnungen	29 %	22 %	25 %
Reduzierte Ackerzahl der schweren Böden	31	44	40

In der vorstehenden Übersicht sind für drei Betriebsbeispiele mit schweren Böden aus verschiedenen Gebieten und Ursprungsgesteinen die wesentlichen Merkmale und die Ergebnisse der in Betracht kommenden Abrechnungen zusammengestellt. Die sehr weitgehende Reduktion der bei der Bodenschätzung festgestellten Ackerzahlen ist ausschließlich durch die Berücksichtigung der wertmindernden Einflüsse der schweren Böden zustandegekommen. Wirtschaftliche Ertragsbedingungen, die unabhängig von der Bodenart auf den landwirtschaftlichen Betrieb einwirken, werden hier nicht berücksichtigt. Die durch Umrechnung auf die Fläche der schweren Böden erhaltenen abgewerteten Ackerzahlen sind daher auch keinesfalls identisch mit der sogenannten Betriebszahl, die das Wertverhältnis des Betriebs nach vollständiger Bewertung aller natürlichen und wirtschaftlichen Ertragsbedingungen darstellt. Sie wurden ausschließlich zu dem Zweck an konkreten Beispielen herausgearbeitet, zu zeigen, in welchem Ausmaß die für die nächste Hauptfeststellung der Einheitswerte vorgesehenen Korrekturen wirksam werden können.

Eingangs wurde angedeutet, daß eine Abwertung der Schätzungsergebnisse der schweren Böden vor allem für Ackerböden in Aussicht genommen sei. Bei der Bewertung des Grünlandes spielen die Bodenarten keine so ausschlaggebende Rolle, daher sind entsprechende Wertänderungen beim Grünland bisher auch nicht für erforderlich gehalten worden. Man muß sich aber fragen, ob bei einer so weitgehenden Abwertung der schweren Ackerböden, wie sie beabsichtigt ist, das ursprünglich wohlabgewogene Verhältnis zwischen ihren Ertragsmeßzahlen und entsprechenden des Grünlandes noch bestehen geblieben ist. Diese Frage muß verneint werden. Wenn der gegenwärtige Stand der Ertragsverhältnisse zwischen Acker und Grünland sich bis zum nächsten Hauptfeststellungszeitpunkt nicht wesentlich ändert, so wird mit einer Senkung der Grünlandzahlen um Beträge, die etwa zwischen 10 und 20 v.H. liegen werden, zu rechnen sein. Damit würde auch ein zutreffendes Wertverhältnis zwischen den abgewerteten schweren Ackerböden und ihnen im Wert entsprechendem Grünland wiederhergestellt sein.

Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft Bd. 1 S. 351-354, 1963

VERÄNDERTE BODENWERTE UND SCHÄTZUNGSRAHMEN DER AMTLICHEN BODENSCHÄTZUNG

Von F. Wacker [x)]

Einleitend wird kurz das Verfahren der Bodenschätzung der Finanzverwaltung und das Zustandekommen der Wertzahlen des dabei verwendeten Schätzungsrahmens erläutert, wobei hervorgehoben wird, daß durch das Trennen des Feststellens der natürlichen (unveränderlichen) und der wirtschaftlichen (veränderlichen) Ertragsbedingungen und durch die die Bewertung stützende Bodenbeschreibung bei Änderungen der wirtschaftlichen Bedingungen oder der Bodenwertverhältnisse nicht mehr das gesamte Aufnahmeverfahren wiederholt werden muß. Dann wird auf die Auswertung der Bodenschätzung für nichtsteuerliche Zwecke (planvolle Gestaltung der Bodennutzung, Siedlung, Beleihungswesen, Grundstücksverkehr, Durchführung von Bodenverbesserungen und Flurbereinigungen, Wirtschaftsberatung, landwirtschaftliches Versuchswesen) durch die von einigen Geologischen Landesämtern hergestellten Bodenschätzungskarten im Maßstab 1 : 5 000 hingewiesen und der Inhalt dieser Karten angegeben.

Angesichts der neuerdings laut gewordenen Stimmen, die besagen, die Bodenschätzung sei auf die Vorkriegsverhältnisse abgestellt, dank der Fortschritte in der Bodenbearbeitung, Düngung und Pflanzenzüchtung hätten sich die Ertragsmöglichkeiten so sehr zu Gunsten der leichten und zu Ungunsten der schweren Böden verschoben, daß die auf der Bodenschätzung aufbauenden Unterlagen nur noch sehr bedingten Wert hätten, wird gefragt, ob es noch sinnvoll sei, die Bodenschätzung weiterhin so wie bisher für nichtsteuerliche Zwecke - die Folgen von Änderungen auf die Besteuerung sollen hier nicht erörtert werden - auszuwerten, oder ob die Geologischen Landesämter die Arbeit an den Bodenschätzungskarten um- oder ganz einstellen sollen.

x) Geologisches Landesamt in Baden-Württemberg, Freiburg i. Br., Albertstr. 5

Wie eingangs gezeigt wurde, hat der Gesetzgeber von vornherein damit gerechnet, daß die Wertverhältnisse der Böden zueinander sich ändern können. Aus diesem Grund wurde von der Bodenschätzung gefordert, die Beschreibung des Bodens von der Bewertung zu trennen. Die Bodenbeschreibungen, d.h. Horizontgliederung, Korngrößenzusammensetzung, Zustandsstufe und Entstehung bleiben, sofern durch Meliorationen insbesondere Ent- und Bewässerung, Rigolen u.a. nicht künstlich eingegriffen wird, immer gültig, damit aber auch die nach diesen Merkmalen gebildeten Bodenklassen des Schätzungsrahmens. Durch die Bestimmung, daß bei Änderung der Kulturart, nach Ent- und Bewässerung oder ähnlichen bodenverändernden Maßnahmen nachgeschätzt werden muß, ist dafür gesorgt, daß die Bodenschätzung, soweit sie den Boden beschreibt und in Klassen aufteilt, nicht veraltet. Die Wertänderungen berühren somit nicht den wesentlichen Inhalt der Bodenschätzungskarten, nämlich die Bodenklassen und deren Grenzen, die Profilbeschreibungen und -darstellungen, die Angaben über Ausgangsgestein, Bodentyp und geologische Verhältnisse.

Die Bodenschätzungskarten enthalten aber daneben auch die Wertzahlen, die, weil unter den heutigen Verhältnissen die Ertragsmöglichkeiten der schweren Böden, also der LT- und T-Böden im Vergleich zu denen der mittleren und leichteren Böden abgesunken sind, nicht mehr mit den nunmehr erzielbaren Reinerträgen übereinstimmen. Dem hätte durch Abändern der Wertspannen des Schätzungsrahmens entsprochen werden können. Dann hätten aber auf allen Schätzungsurkarten, in allen Schätzungsbüchern und im bisher angelegten Liegenschaftskataster die Wertzahlen umgeschrieben werden müssen: eine Arbeit, die wegen ihres Umfanges undurchführbar ist. Da außerdem damit zu rechnen ist, daß auch künftig die Wertverhältnisse sich verschieben können, so daß immer wieder die Wertzahlen zu ändern wären, hat man den Schätzungsrahmen und seine Wertspannen belassen und berücksichtigt die derzeitigen Verhältnisse bei der Bewertung der Einzelbetriebe. Dieses Vorgehen empfiehlt sich auch darum, weil das Ausmaß der Wertverschiebung sich auch nach der Ausstattung der Betriebe mit Betriebsmitteln und damit nach der Betriebsgröße sowie nach dem Flächenanteil des schweren Bodens an der gesamten Ackerfläche richtet. Über die beabsichtigte Änderung der Bewertung der schweren Böden wird in einem gesonderten Referat von kompetenter Seite berichtet.

Da bei der in Aussicht genommenen Änderung der Bewertung der schweren Böden - eine ähnliche Regelung gilt übrigens auch für schwierige leichte

Böden und für Böden sehr schlechter Zustandsstufen - die Verhältnisse im Einzelbetrieb berücksichtigt werden, können aus den bisherigen Wertzahlen nicht unmittelbar die nunmehr gültigen abgeleitet werden. Die zuständigen Gremien werden noch darüber beraten, wie groß für die LT- und T-Böden die nach Zustandsstufen gestaffelten Abrechnungssätze sein werden, die der Benutzer der die bisher gültigen Wertzahlen enthaltenden Bodenschätzungskarten anwenden muß, um auf die künftig gültigen, von Betriebsgröße und Bodenartenverhältnis unabhängigen Wertzahlen zu kommen.

Im übrigen haben die Bodenschätzungskarten nicht vorweg die Wertzahlen, die besonders der Besteuerung des Grund und Bodens dienen, sondern, da sie ja ausschließlich für nichtsteuerliche Zwecke benutzt werden, die Beschaffenheit des Bodens nachzuweisen. Bei der Flurbereinigung können Flächen, angesehen von ihrer Verkehrslage, dann als gleichwertig und gegenseitig austauschbar angesehen werden, wenn sie nicht nur derselben Klasse der Bodenschätzung, sondern, was den Karten zu entnehmen ist, nach ihrem Profilaufbau auch demselben Bodentyp angehören. Daß bei der Beratung in Fragen der Bodenbearbeitung, Düngung und des Anbaus, ferner bei Meliorationsplanungen die Wertzahlen kaum etwas sagen, dagegen die nach wie vor gültigen Aussagen über die Bodenbeschaffenheit das Wesentliche sind, ist selbstverständlich. So haben die Bodenschätzungskarten, sofern man sich vom Denken in Bodenwertzahlen freimacht, durch die Verschiebung der Bodenwerte nichts an Bedeutung verloren.

Anders ist es bei den sogenannten Bodenwert- oder Bodengütekarten, wie sie z.B. von Planungsgemeinschaften für Planungszwecke verlangt werden: Sie sollen insbesondere dem Nachweis landwirtschaftlich hochwertigen Bodens, der von der Überbauung freizuhalten ist und andererseits landwirtschaftlich minderwertigen Bodens, der für Wohn- und Industriesiedlungen, für Verkehrsanlagen oder zu Aufforstung freigegeben werden kann, dienen. Auf solchen Karten werden die Bodenwerte, etwa in Zehnerstufen, nach den Acker- bzw. Grünlandzahlen der Bodenschätzung ohne Rücksicht auf die Bodenbeschaffenheit dargestellt. Damit auch solche Karten mit den veränderten Verhältnissen übereinstimmen, sind verschiedene Ausführungen denkbar:

a) Auf der herkömmlichen Bodenwertkarte werden die Flächen mit nicht mehr zutreffenden Bodenwerten durch Angabe von Bodenart und Zustandsstufe besonders gekennzeichnet (z.B. T5). Die neue

Bewertung kann dann vom Benutzer mit Hilfe der noch festzusetzenden Abrechnungssätze für LT- und T-Böden, unterschieden nach Zustandsstufen, abgeleitet werden.

b) Die Wertzahlen der heute vergleichsweise weniger ertragsfähigen Böden werden um Durchschnittswerte pauschal herabgesetzt.

Zusammenfassend läßt sich sagen:

1. Trotz veränderter Bodenwerte, d.h. trotzdem seit Aufstellung des Schätzungsrahmens der Bodenschätzung dank des technischen Fortschritts die Ertragsmöglichkeiten auf den leichteren Böden angestiegen, die Wertverhältnisse sich also zu Ungunsten der schweren Böden verschoben haben, sind doch die Ergebnisse der Bodenschätzung in ihrem beschreibenden Teil für die oben erwähnten nichtsteuerlichen Zwecke voll gültig geblieben. Es besteht keine Veranlassung, die Profilbeschreibungen und die Art der Einteilung der Böden in die Bodenklassen des Schätzungsrahmens abzuändern.

2. Weil aus Zweckmäßigkeitsgründen die steuerliche Gerechtigkeit nicht durch Abändern der Wertzahlen sondern dadurch erreicht wird, daß, was die Wertverschiebungen betrifft, bei der Einheitsbewertung zusätzliche, je nach Bodenartenverhältnis und Betriebsgröße gestaffelte Abzüge gemacht werden, kann aus den Wertzahlen des Schätzungsrahmens nicht mehr unmittelbar auf das derzeit gültige Wertverhältnis der natürlichen Ertragsbedingungen geschlossen werden. Man darf sich also bei der Verwendung der Ergebnisse der Bodenschätzung für nichtsteuerliche Zwecke nicht an die Wertzahlen halten, sondern muß, was immer schon richtiger war, nach der Bodenklasse, also nach Bodenart, Zustandsstufe und Entstehung und insbesondere nach der Profilbeschreibung und, sofern er festgestellt wurde, nach dem Bodentyp fragen. Man sollte also z.B. nicht etwa, wie es gar zu gern geschieht, von einem 45iger Boden sprechen, sondern je nachdem von einem Boden der Klasse sL6Lö, Bodentyp Pararendzina, oder LT5V, Bodentyp pseudovergleite Parabraunerde, usw.

3. Zur Herstellung von Bodenwertkarten sind entweder die Wertzahlen im Wertverhältnis veränderter Böden pauschal herabzusetzen oder aber sind auf den Karten bei diesen Böden Bodenart und Zustandsstufe anzugeben, so daß der Benutzer selbst die noch festzusetzenden gestaffelten Abrechnungen machen kann.